

**DETERMINACIÓN DE LA AFECTACIÓN POR OLORES OFENSIVOS EN LA
COMUNIDAD ALEDAÑA A LA PTAR DE RIO FRÍO**

NANCY MILENA SERRANO GÓMEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2016

**DETERMINACIÓN DE LA AFECTACIÓN POR OLORES OFENSIVOS EN LA
COMUNIDAD ALEDAÑA A LA PTAR DE RIO FRÍO**

NANCY MILENA SERRANO GÓMEZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniera ambiental

KENTO TARO MAGARA GÓMEZ. PhD

DIRECTOR

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bucaramanga, julio 8 de 2016

A mis padres por su apoyo incondicional

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS.....	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos	11
2. ANTECEDENTES.....	12
2.1 Afectación por olores.....	12
2.2 PTAR DE RIO FRIO.....	15
3. MARCO TEÓRICO	17
3.1 MARCO LEGAL	17
3.2 MARCO CONCEPTUAL	22
3.2.1 Olores	22
3.2.2 Reactor anaerobio (UASB):	26
3.2.3 Modelos de dispersión.....	27
4. METODOLOGIA	30
5. RESULTADOS	38
6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA	87

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Características de compuestos responsables de olores en una PTAR.....	13
Ilustración 2 Sulfuro de hidrógeno: relaciones dosis-respuesta. Tomado de World Health Organization (WHO).....	15
Ilustración 3 Validación de la queja.....	17
Ilustración 4 Síntesis de las actividades generadoras de olores ofensivos.....	25
Ilustración 5 Aspectos ambientales de las sustancias generadoras de olores.....	26
Ilustración 6 Cuadrícula del área inicial en Google Earth Pro.....	33
Ilustración 7 Terreno en Global Mapper – Curvas de nivel.....	34
Ilustración 8 Malla de receptores.....	35
Ilustración 9 Malla de receptores 3D.....	36
Ilustración 10 Solicitud de Zona Franca a la CDMB.....	39
Ilustración 11 Modelo para las encuestas.....	42
Ilustración 12 Modelo para las encuestas.....	43
Ilustración 13. Datos de Global Mapper en Breeze – Elevación del terreno.....	66
Ilustración 14 Archivo DEM de 8 km vs malla 2 km.....	67
Ilustración 15 Archivo meteorológico .SFC.....	68
Ilustración 16 Archivo meteorológico .PFL.....	69
Ilustración 17 Nivel máximo permisible por contaminante.....	77

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Rosa de vientos	70
Gráfica 2. (a) 3D- Concentración H ₂ S a 1 hora. (b) 2D- Concentración H ₂ S a 1 hora. (c) 3D- Concentración H ₂ S a 24 horas. (d) 2D- Concentración H ₂ S a 24 horas - MEJOR ESCENARIO	73
Gráfica 3. (a) 3D- Concentración H ₂ S a 1 hora. (b) 2D- Concentración H ₂ S a 1 hora. (c) 3D- Concentración H ₂ S a 24 horas. (d) 2D- Concentración H ₂ S a 24 horas – ESCENARIO MEDIO	74
Gráfica 4. (a) 3D - Concentración H ₂ S a 1 hora. (b) 2D- Concentración H ₂ S a 1 hora. (c) 3D- Concentración H ₂ S a 24 horas. (d) 2D- Concentración H ₂ S a 24 horas - PEOR ESCENARIO	75
Gráfica 5 Exportación de resultados a Google Earth Mejor escenario-1 hora.....	79
Gráfica 6 Exportación de resultados a Google Earth Mejor escenario-24 horas.....	80
Gráfica 7Exportación de resultados a Google Earth - Escenario medio 1 hora.....	81
Gráfica 8 Exportación de resultados a Google Earth - Escenario medio 24 horas.....	82
Gráfica 9 Exportación de resultados a Google earth Peor escenario-1 hora	83
Gráfica 10 Exportación de resultados a Google earth Peor escenario-24 horas.....	84

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA AFECTACIÓN POR OLORES OFENSIVOS EN LA COMUNIDAD ALEDAÑA A LA PTAR DE RIO FRÍO

AUTOR(ES): Nancy Milena Serrano Gómez

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Kento Taro Magara Gómez

RESUMEN

En conformidad a la queja interpuesta por la comunidad en la CDMB, autoridad ambiental encargada, se dio inicio al protocolo para el monitoreo, control y vigilancia de olores ofensivos sugerido en la normatividad colombiana vigente para casos en los que existan afectaciones por olores en una determinada área poblacional. Se realizó una encuesta en una zona delimitada un 1 Km a la redonda de la posible fuente, en este caso la PTAR de Río Frío, que se presume es la causante de las molestias percibidas por el usuario que interpuso la queja. Este procedimiento arrojó como resultado cualitativo una evidente ratificación de la molestia y afectación generada por la fuente ya mencionada. Para corroborar de forma cuantitativa esta apreciación se aplicó el modelo de dispersión BREEZE AERMOD el cual, con información referente a meteorología, tasa de emisión y topografía, entre otros, determina las concentraciones de H₂S en un espacio determinado y la dispersión del compuesto en base a las variables ya mencionadas. Las concentraciones calculadas por el modelo generadas desde la fuente mostraron rangos entre 1.753 a 1677.687 µg/m³ en el periodo de 1 hora y de 0.1 a 448.5 µg/m³ en el periodo de 24 horas para el mejor escenario, 8.7628 a 8388.4346 µg/m³ en el periodo de 1 hora y de 0 a 2242 µg/m³ en el periodo de 24 horas para el escenario medio y de 17.5257 a 16776.8691 µg/m³ en el periodo de 1 hora y de 1 a 4485 µg/m³ en el periodo de 24 horas para el peor escenario. Al comparar ambos procedimientos, se concluye que es importante utilizar herramientas cuantitativas como los modelos matemáticos para establecer resultados reales y confiables que permitan tomar decisiones que solucionen o mitiguen problemáticas que afecten a la comunidad.

PALABRAS CLAVES:

Olores ofensivos, modelo de dispersión, PTAR, sulfuro de hidrógeno

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DETERMINATION OF THE AFFECTATION BY OFFENSIVE ODORS IN THE SURROUNDING COMMUNITY TO THE RIO FRIO WWTP

AUTHOR(S): Nancy Milena Serrano Gómez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Kento Taro Magara Gómez

ABSTRACT

In conformity to complaints filed by the community to the environmental authority (CMDDB), the respective monitoring, control and surveillance of offensive odors health protocol was implemented around the affected area. This protocol complies with current Colombian environmental regulations, in cases which there are offensive odor affectations to people. First, a survey was carried out in a defined area of 1 km radius around the possible main source of offensive odors, the Rio Frio waste water treatment plant. This procedure resulted in an obvious qualitative ratification of discomfort and adverse health effects in population living around the aforementioned possible source of emission of offensive odor. In order to corroborate this, a dispersion model (Breeze AERMOD) was implemented, including meteorological data, calculated emission rates, and topography, among others, using hydrogen sulfide (H₂S) as tracer of offensive odor. Concentrations in the studied area ranged between 1,753 and 1677,687 µg/m³ as 1-hour averages, and from 0,1 to 448,5 µg/m³ as 24-hour averages, considering the best scenario, in which H₂S content in the flue gas is the minimum found in the literature for similar waste water treatment plants. For an intermediate scenario, concentrations ranged between 8,7628 to 8388,4346 µg/m³ as 1-hour averages, and from 0 to 2242 µg/m³ as 24-h averages; and for worst case scenario, in which H₂S concentration is as its maximum value in the flue gas, concentrations ranged between 17,5257 to 16776,8691 µg/m³ as 1-hour averages, and from 1 to 4485 µg/m³ as 24-hour averages. Quantitative results from the model application showed good agreement with survey results, which confirms the importance of assessing odor dispersion through computational tools, as part of the process of proposing solutions to these kind of problems to the community.

KEYWORDS:

offensive odors, dispersion model, waste water treatment plants, hydrogen sulfide

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Las actividades industriales en desarrollo, tales como los diferentes tratamientos para contribuir a un plan de saneamiento básico (plantas de tratamiento de aguas residuales o rellenos sanitarios), producen conflictos desde sus etapas iniciales hasta su puesta en marcha y posterior funcionamiento, esto debido a su ubicación, cerca de la zona urbana a la cual presta el servicio determinado. Uno de los principales conflictos con la comunidad es la presencia de olores ofensivos producidos en las plantas de tratamientos de aguas residuales que generan afectación a la salud o molestias persistentes, deteriorando así la calidad de vida de muchas personas.

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, en adelante CDMB; en cumplimiento de la Resolución 1541 de 2013 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual establece el PROTOCOLO PARA EL MONITOREO, CONTROL Y VIGILANCIA DE OLORES OFENSIVOS, realiza la validación de las quejas recibidas por dichos olores a través de la aplicación de encuestas cerca de las áreas afectadas.

Teniendo en cuenta las quejas recibidas, la CDMB, en cumplimiento de sus funciones como entidad encargada de realizar vigilancia y control ambiental, utiliza como referencia la Resolución 1541 de 2013 y la norma NTC-6012-1 para responder a dichas solicitudes y realizar el seguimiento correspondiente.

En el presente trabajo de grado se evidenciará la aplicación de la normatividad Colombiana, su posterior evaluación y comparación con un modelo de dispersión de contaminantes en la atmosfera, con la finalidad de diagnosticar la problemática ambiental presente en la zona.

En el desarrollo de este proyecto se aplicará un modelo de dispersión, como instrumento para la estimación del nivel de afectación por olores repulsivos en poblaciones aledañas a la PTAR de Río Frío, incluyendo datos meteorológicos, topográficos, características fijas de la fuente y tasa de emisión entre otros. El software a utilizar es el BREEZE AERMOD, modelo recomendado por la EPA para la evaluación de proyectos ambientales.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Determinar el nivel de afectación por olores ofensivos en la comunidad aledaña a la PTAR de Río Frío.

1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la percepción de la comunidad con la herramienta de verificación de afectación por olores ofensivos sugerida por la Resolución 1541 del 2013 de acuerdo a las condiciones particulares de la PTAR de Río Frío.
- Identificar las zonas de mayor afectación por medio de la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera.
- Establecer una relación entre los resultados de la modelación y las quejas por olores ofensivos interpuestas por la comunidad.

2. ANTECEDENTES

2.1 Afectación por olores

En el mundo el reto constante del ser humano por seguir su crecimiento en una sociedad y aplicar nuevas técnicas para optimizar sus procesos en pro de buscar una mejor calidad de vida no siempre trae beneficios para el entorno. Muchas de las metodologías innovadoras utilizadas en la actualidad producen efectos adversos a la salud y al medio ambiente.

En el caso específico de las plantas de tratamiento de aguas residuales o servidas, las principales fuentes de olor son 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 presenta condiciones sépticas, y/o durante el tratamiento de lodos, donde las condiciones anaeróbicas generan nuevos odorantes por los bio-procesos que se llevan a cabo ;(Sánchez 2015). Los olores tienen su origen por la mezcla de gases y vapores emitidos por ciertos productos contenidos en las aguas residuales y por los compuestos químicos secundarios que se forman durante el proceso de depuración. El olor más característico de las aguas residuales es el producido por el sulfuro de hidrogeno, que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Los sulfuros se forman a partir de reacciones biológicas de descomposición de compuestos orgánicos que contienen azufre. Cuando se alcanza la septicidad del agua residual fresca o del depósito orgánico, las bacterias anaerobias reducen a los compuestos de azufre. Como es el caso de sulfatos, sulfitos y determinados aminoácidos. Los compuestos resultantes son principalmente sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptanos y sulfuros orgánicos.

Los compuestos químicos productores de mal olor pueden ser clasificados en tres grupos.

- Compuestos de azufre (sulfuro de hidrogeno, sulfuros orgánicos, mercaptanos)
- Compuestos nitrogenados (amoniac, aminos)
- Compuestos oxigenados (Ácidos grasos orgánicos volátiles, aldehídos, alcoholes o cetonas)(CURIHUENTRO 2010)

Ilustración 1 Características de compuestos responsables de olores en una PTAR

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

Fuente: Aplicación del modelo ISC- AERMOD para la estimación de dispersión de olores. Caso estudio: planta de tratamiento de aguas servidas la farfana, 2010, Maritza Carolina Barrera Curihuentro.

El ácido sulfhídrico se genera debido a la reducción biológica del sulfato (SO_4^{-2}) o tiosulfato bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias estrictamente anaeróbicas *Desulfovibrio*, son responsables de la mayoría de la reducción del sulfato a sulfuro, de acuerdo a la siguiente reacción $2C + 2H_2O + SO_4^{-2} \rightarrow H_2S + 2HCO_3$. Estas reacciones ocurren en forma natural y frecuente en los colectores de aguas servidas y en variadas condiciones. Los sulfuros generados, que corresponden a un compuesto incoloro y relativamente soluble en el agua, son fácilmente reconocibles por su característico olor a huevo podrido. En los sistemas de recolección, la mayor parte de la generación del H_2S ocurre en la capa de lodo que se forma en las paredes de la tubería o en los depósitos que se forman en la base de ésta. Si el agua servida contiene poco o no contiene oxígeno disuelto, la difusión del H_2S se produce debido a las condiciones anaeróbicas existentes. Los parámetros que afectan la generación del H_2S son, entre otros, concentración de materia orgánica y nutrientes, concentración de sulfatos, temperatura, oxígeno disuelto y tiempo de retención en colectores (Patri 2014).

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

Los olores provenientes de las PTARs, provocan molestias en las poblaciones cercanas y debido a esto son consideradas como la principal causa de rechazo de la instalación de dichas plantas. 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_2S .

Ilustración 2 Sulfuro de hidrógeno: relaciones dosis-respuesta. Tomado de World Health Organization (WHO)

Concentración del H ₂ S		Efecto
mg/m ³	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

Fuente: 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, 2015.

2.2 PTAR DE RIO FRIO

La PTAR de Río Frío representa la culminación de un ambicioso proyecto de saneamiento que la CDMB ha venido ejecutando para la ciudad de Bucaramanga y su Área Metropolitana desde 1978.

La PTAR se encuentra ubicada en el kilómetro 5 del anillo vial que comunica los municipios de Floridablanca y Girón en el Departamento de Santander. Su diseño se inició en 1984 con apoyo de los Países Bajos, y las obras de la primera fase terminaron en 1991. El tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Río Frío se realizó en el marco del Plan Integral de Saneamiento Hídrico y Control Pluvial de Bucaramanga y su Área Metropolitana (PISAB).

La PTAR es una sucesión lineal de unidades de tratamiento a través de las cuales las aguas residuales fluyen hidráulicamente por gravedad. Está organizada en función del tipo de agua a tratar y de los contaminantes que se deben remover. Por esta razón, y considerando que la mayor contaminación de las aguas residuales domésticas se debe al material orgánico, se adoptó un esquema de tratamiento biológico constituido en 3 fases.

EL TRATAMIENTO PRELIMINAR O PRETRATAMIENTO de la PTAR está constituido por 3 unidades: Rejillado grueso, rejillado fino y desarenador. Las dos primeras unidades retienen todo tipo de residuos sólidos mediante rejillas de 5 cm y 6 mm; luego de la

limpieza mecánica de las rejillas, este material es evacuado y enviado hacia el relleno sanitario municipal, mientras que en el desarenador se decantan eficazmente las arenas presentes en las aguas residuales.

En este tratamiento se logra una remoción de cerca del 70% de la carga orgánica contaminante. La acción enzimática de las bacterias promueve varias reacciones de degradación, siendo la más importante la formación de biogás como subproducto del proceso. En ese transcurso las bacterias crecen y se agrupan formando "flocs" que se depositan en el tercio inferior del reactor, dando lugar al llamado manto de lodos responsable del proceso de biodegradación. Los lodos son retirados periódicamente y se depositan en lechos de secado.

TRATAMIENTO SECUNDARIO. Con el fin de aumentar la remoción, el agua se conduce hacia unos estanques conocidos como lagunas facultativas donde se complementa la descontaminación por la acción conjunta de microorganismos que se adaptan al medio aerobio a nivel de superficie y al medio anaerobio en el fondo de los estanques. Con este tratamiento se logra una remoción adicional de 10% a 15% y se consolida un total superior al 80%, límite establecido por la norma ambiental de vertimiento contenida en el decreto 1594 de 1984.

El beneficio social que entrega la PTAR Río Frío a los habitantes de Floridablanca y el sur de Bucaramanga es directo: retiro de las aguas residuales domésticas de la cercanía de sus residencias y mejoramiento de la calidad del Río Frío (C.J.Collazos & J.M.Cala 2005).

En el caso específico de la planta de la PTAR de Río Frío la generación de olores ocurre en el Reactor Anaerobio, el cual produce diferentes sustancias tóxicas y que pueden causar afectaciones a la salud en altas concentraciones.

En el caso específico de la PTAR de Río Frío, se ha evidenciado afectación constante a la población aledaña por olores repulsivos. Estos episodios frecuentes han sido registrados por la autoridad ambiental CDMB, más que todo en forma de quejas de la población sobre las molestias causadas por los olores ofensivos emitidos en el transcurso del día en esta planta. Por tal motivo se tomó la decisión en la CDMB de aplicar seguimiento y control a la PTAR de Río Frío, realizar un diagnóstico de la situación en particular y proponer soluciones a las afectaciones que puedan generarse sobre los pobladores de esta zona.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO LEGAL

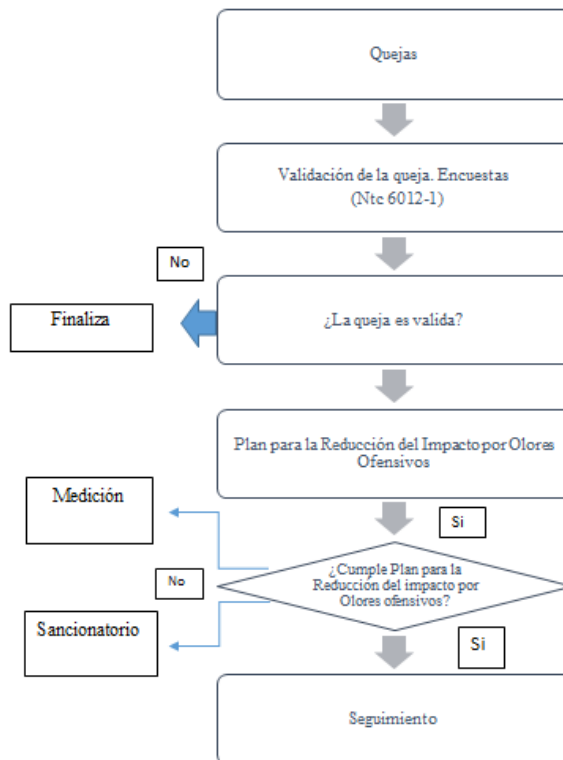
3.1.1 LEGISLACIÓN NACIONAL

Resolución 1541 de 2013

Para evaluar las quejas presentadas, la autoridad ambiental competente aplicará la norma NTC 6012-1 “Efectos y Evaluación de olores. Evaluación sicométrica de las molestias por olores. Cuestionarios”.

La NTC 6012-1 desarrolla, entre otros, métodos de investigación de los niveles de molestia y herramientas para establecer áreas de afectación.

Ilustración 3 Validación de la queja



Fuente: Resolución 1541 del 2013

A través del uso de esta herramienta se obtiene información objetiva sobre una presunta problemática de olores ofensivos en la ciudad y una evaluación sobre la eficacia de las medidas tomadas para la prevención o control de las emisiones de una actividad generadora. Como resultado de la evaluación de las quejas, la autoridad ambiental competente deberá omitir un concepto técnico, el cual servirá como fundamento para solicitar la implementación del “PLAN DE REDUCCIÓN INTEGRAL DE OLORES OFENSIVOS “PRIO”.

Debe contener:

- Relación de las quejas que originaron la evaluación de la misma.
- Informe de visita de campo.
- Metodología y cronograma de la aplicación de las encuestas.
- Copia de los formularios de las encuestas aplicadas.
- Análisis de la información.
- Resultados de la evaluación de la queja (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2013).

PROTOCOLO PARA EL MONITOREO, CONTROL Y VIGILANCIA DE OLORES OFENSIVOS

El Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire adoptado mediante el Decreto 948 de 1995, define y establece los tipos de contaminantes atmosféricos sujetos a reglamentación por considerarlos causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Entre los contaminantes regulados se incluyen los olores ofensivos definidos como: el olor generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicios, que produce fastidio aunque no cause daño a la salud humana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2014). Esta condición se explica fundamentalmente debido a que las concentraciones a las que el olfato humano percibe los olores son tan bajas que no necesariamente implican efectos directos en la salud.

Por definición, cuando se hace referencia a olores ofensivos, necesariamente se están describiendo dos condiciones: la presencia de una o más sustancias olorosas en el aire y un receptor sensible. En este contexto, es el receptor sensible quien actúa como indicador de una situación dada por olores ofensivos en el ambiente. La materialización de dicha situación se da en cuanto dicho receptor involucra a las Autoridades Ambientales a través de una queja. Sin embargo, para calificar una queja como válida es necesario

que se verifiquen algunos aspectos que le permitan a la autoridad ambiental determinar de manera objetiva la existencia real de una afectación por olores ofensivos.

Objeto y alcance

Describe métodos de investigación para establecer los niveles de molestia existente, para lo cual incluye una población control, determina herramientas para estimar áreas de población afectadas y compara resultados de modelos de dispersión con la realidad descrita por la población.

El alcance de la NTC 6012-1 permite obtener un panorama objetivo de una presunta problemática por olores, así como la evaluación de la eficacia de las medidas tomadas para la prevención y/o control de las emisiones.

DECRETO 948 DE 1995

Contenido y objeto.

El presente Decreto contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles.

Adicional a esto incluye las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las de emisión de ruido y olores ofensivos, regula el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medios de control y vigilancia, el régimen de sanciones por la comisión de infracciones y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica.

3.1.2 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

En la legislación internacional, diferentes países ya están entrando a conformar el círculo en el cual se tiene preocupación por la presencia de olores ofensivos, generando así diferentes leyes o normas que son una herramienta fundamental para la vigilancia y control de las diferentes fuentes que, pueden llegar a producir mayor afectación o molestia para las comunidades en general.

A nivel internacional, en Europa, los países con una normativa más avanzada en relación con este tema son Holanda, Alemania y Reino Unido. En Asia, son China y Japón quienes cuentan con legislación específica de contaminación de olores desde hace años. Se

aprecia entonces que son los países más poblados los más avanzados en este tema, ya que las principales fuentes de quejas en relación con esta molestia se originan de los habitantes de áreas residenciales que poco a poco se acercan a áreas industriales tradicionales por la falta de terreno urbano y por las tarifas del terreno de estas zonas (AEC 2005).

- **HOLANDA**

La experiencia en el tema de olores comenzó en los años 80's y tomó mayor fuerza a mediados de los 90's. El protocolo consistió fundamentalmente en recopilar la información básica necesaria de cada una de las quejas por malos olores recibidas en los ayuntamientos (situación del vecino que se queja, hora del día, duración de la molestia, tipo de olor, etc.). A partir de estos cuestionarios y con los datos de los mapas de olores existentes en la zona, se establecieron los valores máximos de concentración en inmisión, dando como resultado la elaboración del mencionado método NVN 2.820. Los niveles máximos se establecen en UO/m³ y percentiles. Esto fue el resultado de los estudios realizados sobre quejas de la población en los que se demostró que los principales factores responsables de las quejas eran la concentración de olor y el tiempo de exposición. Sin embargo, en 1994 el Parlamento decidió abandonar los valores propuestos en esta guía. El principal argumento era que los límites anteriormente mencionados eran considerados excesivamente estrictos y, sobre todo, porque no tenían en cuenta el tipo de olor emitido y su carácter hedónico (que define el mayor o menor rechazo a un determinado olor), ni la concentración de olor de fondo de una determinada zona. La nueva política concede mayores responsabilidades a las autoridades municipales. El ministro notificó en 1995 la nueva política holandesa sobre malos olores. Este documento es actualmente la guía de referencia para todos los ayuntamientos en Holanda (CURIHUENTRO 2010).

- **ALEMANIA**

Para la realización de medidas de olores en inmisión, Alemania utiliza la norma VDI 3940 "Determination of odorants in ambient air by field inspections".

En el año 2002 Alemania emitió la Ley Federal de Inmisiones de Alemania 2002 y el Proyecto - Décimo Reglamento para su implementación. La primera, creada en 1974 y modificada gradualmente, tiene como principal objetivo la protección de las personas, animales y plantas; suelo, agua, atmosfera, bienes culturales y materiales, contra los efectos perjudiciales de la contaminación y la precaución contra problemas potenciales. La Directiva 96/61/CE de 1996 pretende lograr control y protección adecuados e

integrales de la contaminación para evitar o reducir las emisiones al aire agua y tierra, lo cual además incluye medidas sobre los residuos, para lograr una protección integral al ambiente. Esto significa que en las fases de los procesos productivos debe considerarse el ambiente como un todo, evitando la contaminación de un medio a otro (agua a suelo, suelo a atmosfera, etc.); así como también considerar las particularidades de cada industria o instalación y de cada medio receptor. Así como en la Ley de la Generalitat de Cataluña, se requiere una licencia ambiental integrada para desarrollar cualquier actividad que pueda generar malos olores; en esta licencia se especifican los valores límites de emisión de sustancias contaminantes para cada tipo de actividad, para las cuales se fijan índices de emisión y se especifican las áreas que requieren mayor protección contra el olor, como lo son las áreas residenciales, aplicando el uso de la mejor tecnología disponible (MTD), la aplicación de buenas prácticas de gestión y la implementación de medidas protectoras.

La norma VDI 3883 (cuestionarios para determinar los efectos y evaluaciones de los olores y las evaluaciones psicométricas de las molestias por olores) es adoptada en Alemania como autoridad en el tema. Esta describe los métodos de investigación para determinar la existencia de posibles molestias debidas a sustancias de olor intenso. En cada zona de estudio se realizan encuestas en los hogares (un respondiente por vivienda); A partir de los resultados obtenidos, es posible identificar parámetros objetivos y cuantificables, que permitan definir la molestia. En la Comisión de Prevención de la Contaminación del Aire, expertos científicos, industriales, y administrativos, establecieron directrices y estándares bajo su propia responsabilidad. Estas directrices y estándares están siendo aplicados para legislar y regular todos los aspectos de la prevención de la contaminación del aire. De éstas también surgió el Manual de Prevención de la Contaminación del Aire. Las directrices también describen un método de estudio en la población para medir cualquier molestia causada por olores, se seleccionan residentes locales, quienes son frecuentemente indagados acerca de su percepción de olores en determinado momento, y su valoración sobre el grado de molestia. Los resultados medidos en un largo periodo de tiempo sirven para cuantificar la molestia causada por olores, es decir, para medir el índice de molestia de los residentes en un área definida de investigación (Ministerio de Salud y Protección Social 2012).

- **JAPÓN**

Para la regulación de olores Japón se rige por La Ley de Control de olores ofensivos que fue promulgada en 1971 y actualizada en 1995 y 1997. Esta ley identifica a 22 compuestos como sustancias olorosas ofensivas y establece valores límites a cada uno

de ellos. Dentro de estos se pueden mencionar el Amoniaco, Mercaptano del Metilo, Sulfuro de Hidrogeno, Dimetilsulfuro, Disulfuro de Dimetilo, Trimetilamina, Acetaldehído, Estireno, Ácido Propionico, Ácido n-butirico, Ácido n-valerico, Ácido isovalerico, entre otros.

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

1. Olor ofensivo proveniente de la superficie de la tierra con límite de propiedad.
2. Olores ofensivos descargados desde chimeneas u otra emisión desde una fábrica.
3. Olor ofensivo proveniente de las aguas servidas descargadas fuera del límite de la propiedad (CURIHUENTRO 2010).

- **MÉXICO**

Hasta el momento, no existe una norma oficial mexicana para evaluar el impacto de un olor. De tal modo que, en el país, el problema actual de contaminación por olores gira alrededor de cómo legislarlo y más aún, cómo medir algo tan subjetivo como un olor. A pesar de su incipiente legislación de olores, en Brasil, Chile, México, Panamá y Uruguay, ya han tenido que gestionar las molestias generadas por olores industriales.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) es la norma que busca respaldar el desarrollo sustentable y establecer los criterios para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiental adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. Para lo cual señala, en su artículo 5, que la regulación de la prevención de la contaminación por olores es competencia de la Federación. En el Artículo 7°, indica que corresponde a los Estados la prevención y el control de la contaminación generada por la emisión de olores perjudiciales proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales y fuentes móviles que no sean de competencia del Distrito Federal (Ministerio de Salud y Protección Social 2012).

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 Olores

Entre los miles de conceptos sobre los olores en la norma Europea, la EN 13725 define el olor como un “atributo organoléptico perceptible por el órgano olfativo cuando se

respiran determinadas sustancias volátiles” (Alpha MOS 2005). Por tanto, el olor es una sensación propia de quien la percibe. Definir si un olor es bueno o no, dependerá del gusto y criterio de cada persona, sin embargo, existe una serie de olores que para la mayoría de personas pueden ser molestos. Para Colombia, dichos olores son definidos en el artículo 2 del Decreto 948 de 1995, donde se define olor ofensivo, como “el olor generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce fastidio, aunque no cause daño a la salud humana”(MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 1995). La generación de estos olores se atribuye principalmente a actividades industriales.

La percepción del olor se encuentra condicionada por diferentes factores que deben ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar y caracterizar un olor ofensivo:

- Frecuencia: se refiere a qué tan a menudo ocurre la exposición.
- Intensidad: es la percepción de qué tan fuerte es el olor.
- Duración: tiempo de exposición al olor.
- Carácter: permite describir y diferenciar cualitativamente los distintos olores, incluso de igual intensidad (afrutado, rancio, quemado, entre otros).
- Ubicación: se refiere al tipo de receptores (viviendas, parques, áreas de especial sensibilidad, entre otros) y a las condiciones meteorológicas locales (OSORIO & ARBOLEDA 2012).

Adicionalmente existen otras propiedades como:

- Carácter del olor: propiedad que identifica un olor y lo diferencia de otros olores con la misma intensidad. El olor es definido por el grado de similitud a un conjunto de olores de referencia.
- Tono hedónico: es la propiedad de un olor relativa a su agrado o desagrado, es decir, es un juicio de categoría del placer o no-placer relativo del olor (OSORIO & ARBOLEDA 2012).

En cuanto a los olores ofensivos, son una forma de contaminación atmosférica que afecta de manera directa e indirecta la calidad de vida de las personas, pero no desarrolla de manera contundente impactos a los recursos naturales.

Actualmente en Colombia no se encuentra establecido el mecanismo o protocolo para abordar esta problemática, de tal manera que se determinen y evalúen las

concentraciones del olor ofensivo. Este tipo de contaminación, dada su naturaleza y complejidad en el sentido en que la afectación por la generación de olores ofensivos puede ser subjetiva ha hecho que esta forma de contaminación pase, por así decirlo, a un segundo plano, por lo que se le da poca importancia.

En el ámbito internacional ya existen dos métodos que se emplean para la cuantificación del olor: los métodos sensoriales y los métodos analíticos.

Métodos sensoriales (la respuesta humana): individuos entrenados aplican pruebas con muestras para estimar la respuesta de una población sobre una determinada sustancia gaseosa.

Métodos analíticos: se analiza una muestra para conocer su composición química; esta información es posteriormente examinada para estimar una concentración de olor. Existen equipos de lectura directa, que entregan la concentración específica de ciertas sustancias químicas en los gases.

Las sustancias químicas que generan una respuesta olfatoria generalmente tienen bajas presiones de vapor. Podría decirse que los malos olores generalmente tienen compuestos volátiles de azufre, así como también compuestos aromáticos orgánicos como ácidos grasos. Bastan pequeñas cantidades (bajas o muy bajas concentraciones) para que sean percibidas por la nariz. El Artículo 3 de la Resolución 610 de 2010 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (que modificó parcialmente la Resolución 601 de 2006) define los niveles máximos permisibles para las principales sustancias generadoras de olores ofensivos: acetaldehído, ácido butírico, amoníaco, clorofenol, dicloruro de azufre, etil mercaptano, etil acrilato, estireno, monometilamina, metil mercaptano, nitrobenzono, propil mercaptano, butil mercaptano, sulfuro de dimetilo y sulfuro de hidrógeno (OSORIO & ARBOLEDA 2012).

Con respecto al origen de los olores en los diversos procesos, se podrían clasificar en dos tipos:

Fuentes puntuales: Chimeneas, conductos, salidas de ventilación, entre otros.

Fuentes difusas: Generalmente son superficies sólidas olíquidas, tales como pozos de secado de lodos, plantas de compostaje, vertederos, piscinas, biofiltros, etc. (Ministerio de Salud y Protección Social 2012).

Los olores emitidos por la PTAR de Rio Frío son generados en su mayoría por el tratamiento de las aguas negras en el proceso anaerobio que realiza esta planta. (Ilustración 4) hace una síntesis de las actividades generadoras de olores ofensivos y de sustancias asociadas a cada una de ellas, en la cual se ve la PTAR y especifica cuáles son los productos generados por la misma.

Ilustración 4 Síntesis de las actividades generadoras de olores ofensivos

ACTIVIDAD	SUSTANCIA QUÍMICA													
	Ácido Sulfúrico	Sulfuro de dimetilo	Dicloruro de azufre	Mercaptanos	Amoniaco	Metilamina	Acetaldehído	Ácido Butírico	Etilacrilato	Cloroformol	Estireno	Trimetilamina	Indole	Skatole
Plantas de tratamiento de agua residual.	x	x	x	x	x	x						x	x	x
Rellenos sanitarios y sitios de disposición de residuos.	x	x	x	x	x	x						x	x	x
Cría y sacrificio de animales.	x	x	x	x	x	x						x	x	x
Industria de procesamiento de pescado y sus derivados (harina, aceites, concentrados).												x		
Industrias de procesamiento de cueros (curtiembres).	x	x	x		x	x						x	x	x
Industrias de subproductos de origen animal y vegetal.	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x
Industria petroquímica y de explotación de gas natural.	x	x	x	x										
Industria de pulpas de madera y fabricación de papel, cartón, celulosa.	x	x	x	x										
Elaboración de productos lácteos							x	x						
Elaboración de productos de café.							x							x
Elaboración de aceites y grasas de origen animal y vegetal y sus derivados.	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x
Fabricación de resinas sintéticas y adhesivos.									x					
Fabricación de antisépticos y plaguicidas.										x				
Fabricación de plásticos y cauchos.	x	x	x								x			
Fabricación de abonos y compuestos orgánicos nitrogenados.					x	x						x	x	x

Fuente: Lineamiento para la vigilancia sanitaria y ambiental del impacto de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas, 2012.

La Ilustración 5 resume los aspectos ambientales de las sustancias generadoras de olores ofensivos. Se relaciona la afectación que puede llegar a causar al ambiente la liberación en forma gaseosa o líquida al aire, agua y suelo o a los diversos ecosistemas, su tiempo de permanencia y sus efectos sobre la flora y especialmente sobre la fauna.

Ilustración 5 Aspectos ambientales de las sustancias generadoras de olores

GRUPO		NOMBRE DE LA SUSTANCIA	ASPECTOS AMBIENTALES
LÍQUIDOS Y GASES INORGÁNICOS Y COMPUESTOS DE AZUFRE REDUCIDOS ⁻²	Sulfuros	Ácido sulfhídrico	Una vez liberado al ambiente, el ácido sulfhídrico en la atmósfera se comporta como cualquier otro contaminante y es dispersado y eventualmente removido. Los tiempos de residencia en la atmósfera están por encima de 40 días, dependiendo del clima, latitud y condiciones atmosféricas.
		Sulfuro de Dimetilo	El sulfuro de dimetilo liberado al ambiente de fuentes de contaminación tales como aguas residuales, rellenos sanitarios, etc. se metaboliza a dióxido de carbono y metano en aproximadamente 8 horas; por ser un compuesto inestable es poco factible su acumulación en el aire, agua o suelo.
		Dicloruro de azufre.	El dicloruro de azufre es muy tóxico para los organismos acuáticos. Se debe evitar que esta sustancia se incorpore al ambiente.
	Mercaptanos	Metil Mercaptano	El metil mercaptano es liberado al aire tanto de fuentes naturales como industriales. La luz solar puede degradarlo a otras sustancias. La mayoría del metil mercaptano liberado al ambiente pasa al aire. El metil mercaptano puede formarse en el agua por reacciones químicas. Se ha encontrado metil mercaptano en por lo menos 2 de los 1.300 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales identificados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).
		Etil mercaptano	Esta sustancia es altamente tóxica. Una concentración de 20 ppm en el agua puede causar la muerte de los peces en 2-3 minutos. El nivel de umbral estimado en el agua que puede contaminar la carne de pescado y otros organismos acuáticos se calcula en 240 µg/l. Este material no es fácilmente biodegradable y tiene una vida media en el aire de 4,8 horas. La vida media de evaporación es de 2,5 horas en río, a 29 horas en estanque.
		Propil mercaptano	No se han investigado los efectos de esta sustancia sobre el medio ambiente adecuadamente.
	Gases derivados del Nitrógeno	Amoniaco	No permanece mucho tiempo en el ambiente. Es incorporado rápidamente por las plantas, las bacterias y los animales; no se acumula en la cadena alimentaria, pero sirve como alimento para plantas y bacterias.
		Metil Amina	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los peces.
	ÁCIDOS ORGÁNICOS Y DERIVADOS	Acetaldehído	Por evaporación de esta sustancia a 20°C, se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.
		Ácido butírico	La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.
Etil acrilato		La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.	
COMPUESTOS AROMÁTICOS Y DERIVADOS	Clorofenol	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debe prestarse atención especial al agua.	
	Estireno	La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Debe evitarse de forma efectiva que el producto químico se incorpore al ambiente.	
	Nitrobenceno	La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Debe evitarse de forma efectiva que el producto químico se incorpore al ambiente.	

Fuente: Fuente: Lineamiento para la vigilancia sanitaria y ambiental del impacto de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas, 2012.

3.2.2 Reactor anaerobio (UASB):

Es un tratamiento biológico que consiste en una unidad anaerobia de flujo ascendente en un manto de lodos que utiliza microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo dióxido de carbono. Su diseño está basado en el flujo ascensional del afluyente a través

del manto de lodo. Está constituido por tres fases: Líquida, sólida y gaseosa; en esta última se genera el biogás que es captado por una campana. El efluente sale del reactor por medio de vertederos. Es un sistema eficiente para la remoción de altas cargas orgánicas como domésticas e industriales (CENDALES 2006).

Algunas de las sustancias que se producen en una PTAR que trabaje con un reactor de flujo anaerobio son:

- Compuestos de azufre

Los compuestos oxidados de sulfuro como el sulfito, sulfato y tiosulfato pueden estar presentes en concentraciones significativas en varias aguas residuales industriales y en algún grado en las aguas residuales municipales. Estos compuestos pueden servir como aceptores de electrones para las bacterias reductoras de sulfato, las cuales consumirán compuestos orgánicos en el reactor anaerobio, produciendo sulfuro de hidrógeno. El sulfuro de hidrógeno tiene mal olor y es corrosivo. La combustión de productos formados a partir de sulfuro se considera como fuente de contaminantes atmosféricos.

- Compuestos de nitrógeno

La presencia de estas especies puede ser un tema de preocupación en el tratamiento anaerobio de aguas residuales; iones amonio o proteínas y/o aminoácidos, pueden degradarse para producir amoníaco. Concentraciones elevadas de amoníaco pueden ser tóxicas para las bacterias metanogénicas (González. & Vázquez 2011)

3.2.3 Modelos de dispersión

Los modelos de dispersión de contaminantes permiten predecir el desplazamiento de la pluma de gases y/o partículas que se emiten a partir de una o varias fuentes de contaminación, ya sean estacionarias o móviles, puntuales, lineales, de área o volumen.

Estos se inicializan con datos meteorológicos horarios, características de las fuentes de emisión, topografía del terreno, tipos de suelos, áreas cultivadas y una serie de parámetros físicos y de dinámica de la atmósfera.

Estos modelos simulan la dispersión de partículas, gases, olores (mezcla de gases) y cenizas volcánicas durante períodos largos de tiempo, a resoluciones espaciales y temporales altas y con un muy buen grado de precisión.

Los modelos de dispersión son una herramienta muy útil en los estudios académicos de calidad del aire y en la ingeniería del medio ambiente. Adicionalmente, son clave fundamental en la mayoría de las evaluaciones relacionadas con los impactos

ambientales afines con emisiones. A pesar de la importancia de estos modelos no se han realizado muchas aplicaciones y publicaciones en más de una década (Visscher 2014).

Históricamente los modelos de dispersión fueron un área de trabajo únicamente para meteorólogos, campo que sigue siendo complementado por esta rama de científicos, sin embargo, con el paso del tiempo los ingenieros que normalmente no manejan el área de la meteorología se han convertido en usuarios habituales de estas herramientas, al utilizar un lenguaje científico diferente al de los meteorólogos se ha visto afectado el desarrollo y la optimización de estos modelos (Visscher 2014)

La aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos como herramienta de la gestión ambiental, y específicamente como herramienta de la evaluación de impacto ambiental, se encuentra limitada a lo exigido por la legislación ambiental nacional e internacional. Los modelos de calidad del aire son herramientas matemáticas destinadas a simular los procesos físicos y químicos que afectan los contaminantes cuando se dispersan o reaccionan en la atmósfera. Se basan en datos meteorológicos, topográficos, tasas de emisión de los contaminantes desde su origen y las características físicas de la fuente. Los modelos de dispersión tienen como objetivo fundamental caracterizar el movimiento de los contaminantes atmosféricos primarios, que una vez emitidos ingresan directamente a la atmósfera y en algunos casos, contaminantes secundarios que se forman como resultado de reacciones complejas (Arregui 2014).

- **MODELO AERMOD**

El modelo de dispersión AERMOD es aplicable a zonas rurales y urbanas, terreno llano o irregular. Las fuentes de emisión pueden ser de tipo puntual, de superficie, de área y de volumen. Además, la formulación del modelo permite evitar cualquier tipo de discontinuidad, de modo que pequeñas variaciones en los parámetros de entrada no puedan provocar grandes cambios en las concentraciones de salida calculadas. AERMOD incorpora los conceptos de dispersión del aire en terreno complejo y hace la dispersión de la pluma impactando en el terreno y/o siguiendo la topografía. Esta aproximación se ha diseñado de forma tal que sea representativa de la realidad física, y fácil de implementar, sin necesidad de clasificar el terreno, lo cual si se debe hacer en otros modelos de dispersión. El modelo AERMOD puede caracterizar la capa límite planetaria mediante una parametrización de la superficie y de la capa de mezcla. Esta caracterización se realiza al construir perfiles verticales de las variables meteorológicas consideradas como representativas (BRENES 2014).

El equipo de desarrolladores de BREEZE está integrado por meteorólogos profesionales e ingenieros ambientales que proporcionan conocimientos meteorológicos en la obtención de datos para sus necesidades de modelado. El equipo está bien informado sobre fuentes de datos en todo el mundo, posibles problemas con modelos externos y los medios adecuados para hacerles frente, así como con las técnicas de pre procesamiento adecuadas para el modelo de entrada.

AERMOD BREEZE es un modelo de dispersión gaussiano que está avalado por la EPA, es una versión mejorada de AERMOD que ofrece las herramientas y funcionalidad necesarias para realizar análisis de calidad de aire que ayudan a comparar con los permisos, reglamentación y/o evaluación de molestias en un área determinada; y permite complementar investigaciones académicas. BREEZE AERMOD/ISC ofrece el más completo sistema de modelación disponible en el mercado para calidad del aire. Ninguna otra aplicación es utilizada por más profesionales de la calidad del aire del mundo.

El modelo de dispersión requiere como entrada, tres parámetros específicos de uso estos son características del terreno u zona en general, la meteorología correspondiente y las emisiones a analizar. Es importante saber que tan confiables son estos parámetros con respecto a los resultados esperados, teniendo en cuenta que son suficientes para el caso en específico a tratar (BREEZE Modeling Software for 2016).

4. METODOLOGIA

4.1 Cuantificación de la percepción de la comunidad con la herramienta de verificación de afectación por olores ofensivos sugerida por la Resolución 1541 del 2013 de acuerdo a las condiciones particulares de la PTAR de Río Frío.

4.1.1 Aplicación de la herramienta de verificación

Para realizar el ajuste de la herramienta de verificación se aplicó la Resolución 1541 del 2013, en donde se propone el uso del instrumento del Protocolo para el Monitoreo, Control y Vigilancia de Olores Ofensivos. Este se aplicó por parte de la autoridad ambiental, CDMB. Este protocolo sugiere utilizar la NTC 6012-1, la cual de manera detallada describe el modelo de cuestionario para la medición de las molestias generadas por olores, de este listado se realizó una revisión depurando las preguntas de mayor relevancia para el caso en particular.

4.1.2 Diseño del muestreo

- **Recepción de quejas:**

Para iniciar el proceso de validación se realizó una revisión de las quejas recibidas durante los años 2014 y 2015 las cuales delimitaron posibles fuentes generadoras de olores ofensivos. Con una sola queja realizada durante el periodo mencionado anteriormente se dio inicio al proceso respectivo para vincular a la comunidad afectada.

- **Visita de campo Inicial:**

Se realizó una visita de campo inicial al lugar donde se encuentra ubicada la fuente de la queja y sus alrededores con lo cual se determinó la zona en donde se aplicó la resolución 1541 del 2013. El proceso de aplicación de la normatividad vigente se realizó con el acompañamiento de una trabajadora social, obteniendo la información correcta por parte de la comunidad.

- **Selección del área de estudio:**

Se estableció un radio de acción de 1 km alrededor de dicha fuente, conforme a la norma, para identificar las áreas afectadas teniendo en cuenta las actividades productivas de las empresas y la población concentrada en la zona, de esta manera se delimitó el campo de acción para la recolección de datos.

- **Análisis del muestreo:**

Para el análisis de las encuestas realizadas a la comunidad, se hizo una tabulación de los resultados de forma cuantitativa y cualitativa según el carácter de la pregunta. De esta forma se estableció la importancia de la información recolectada y se identificó el nivel de afectación percibido por esta población.

4.2 Identificación de las zonas de mayor afectación por medio de la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

4.2.1 Determinación de factores de emisión de H₂S en procesos de tratamiento de aguas residuales similares al de la PTAR de Río Frío.

En este proceso se tuvo en cuenta que los factores de emisión se tienen en cuenta cuando existe una variabilidad climática y/o temporal en la región que incida de forma directa en la emisión. Al ser Colombia un país sin estaciones marcadas ni variaciones de clima repetitivas no se determinaron factores sino una rata de emisión constante en la PTAR de Río Frío en el caso específico de emisiones de H₂S. Al no existir información directa de la fuente, se realizó una revisión bibliográfica de los posibles escenarios, partiendo de una ubicación geográfica y procesos aplicados similares a los de la PTAR de Río Frío.

De esta forma, se calculó la rata de emisión requerida por medio de ecuaciones planteadas en la bibliografía existente (Mudragaddam 2010).

Mudragaddam refiere un método cuantitativo para el cálculo de la rata de emisión de diferentes contaminantes generados en un proceso anaerobio. Este método requiere información horaria de funcionamiento, por lo cual se realizó un ajuste a las fórmulas para incorporar datos promedio diarios. Las ecuaciones utilizadas finalmente se observan a continuación:

CALCULO DE LA RATA DE EMISIÓN DE H₂S

Ecuación 1. Concentración en masa

$$C_{mass} = \left(\frac{1000 * C_{ppm} * MW * p}{R * T} \right) * 10^{-6}$$

Donde:

C_{mass}: Concentración en masa, g/m³

Cppm: Concentración, ppm
MW: Peso molecular del gas contaminante, g/mol
P: Presión
T: temperatura en Kelvin
R: Constante de los gases, 0.08206 L-atm/ (mol-K)

Ecuación 2. Volumen expedido

$$V_{olexp} = V_{olfuente} - V_{olagua}$$

Ecuación 3. H₂S expedido

$$H_2S_{exp} = \frac{V_{olexp} * C_{mass}}{T}$$

Donde:
Volexp: Volumen expedido de gas por la planta.
Cmass: Concentración en masa, g/m³
T: Tiempo de exposición en 1 día.

Ecuación 4. Rata de emisión

$$RE = \frac{H_2S_{exp}}{ASup}$$

Donde:
H₂S_{exp}: H₂S expedido a la atmosfera
ASup: Área superficial

4.2.2 Recolección de la información topográfica y meteorológica de la zona de estudio.

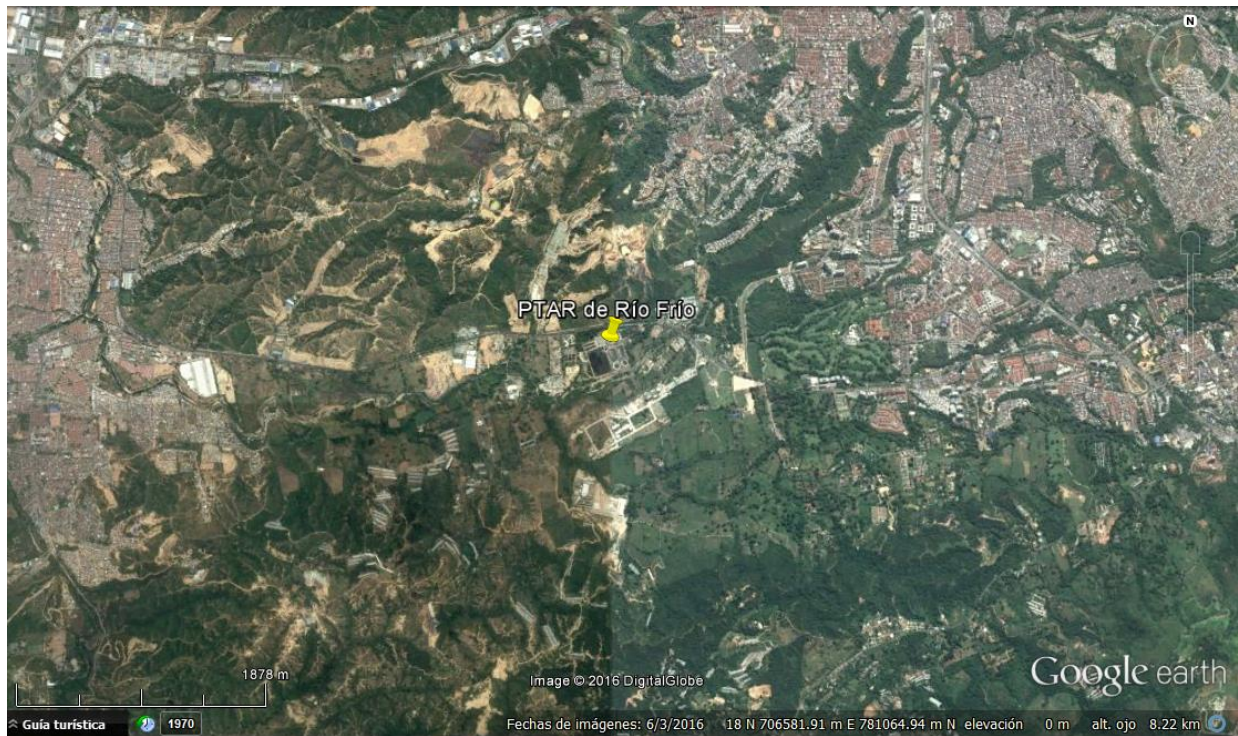
Para alimentar el modelo fue necesario contar con información topográfica y meteorológica representativa del sitio establecido mayor o igual a un año, la cual es utilizada por el mismo para determinar el comportamiento del contaminante después de ser emitido.

En la obtención de los datos topográficos necesarios se utilizó el programa de acceso gratuito, Global Mapper, que utiliza información importada desde Google Earth. El uso de

estos dos programas en conjunto permite generar una cuadrícula que contiene las ubicaciones geográficas por medio de coordenadas UTM y las curvas de nivel de la zona para así darle una topografía real al modelo, en un archivo tipo DEM (Extensión solicitada por Breeze).

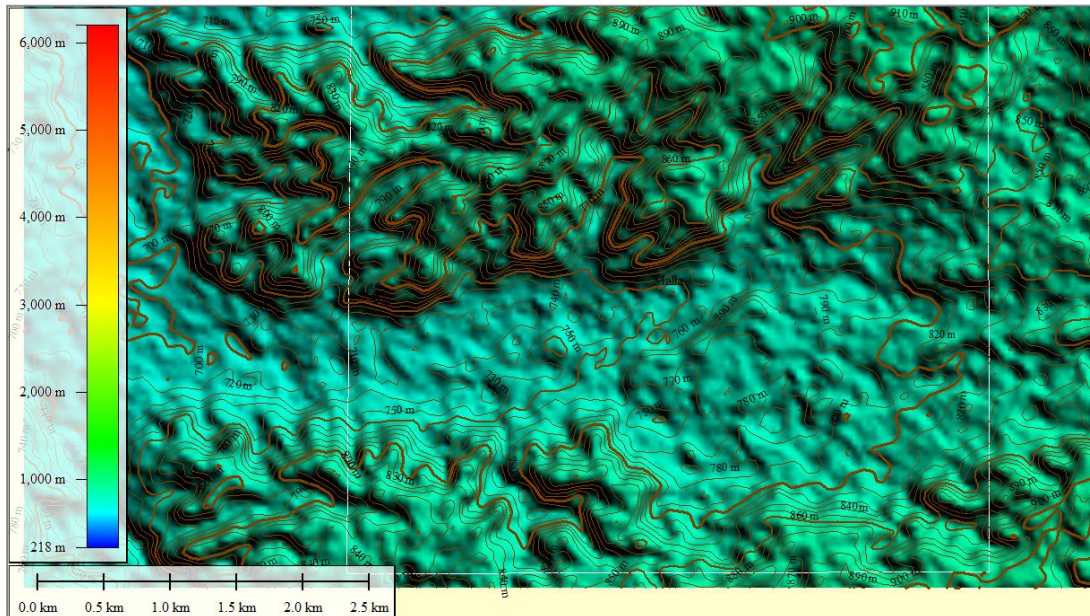
A continuación, se muestran las imágenes generadas por los programas anteriormente nombrados y que fueron incluidas en los archivos de entrada del modelo:

Ilustración 6 Cuadrícula del área inicial en Google Earth Pro



Fuente: Google Earth Pro

Ilustración 7 Terreno en Global Mapper – Curvas de nivel



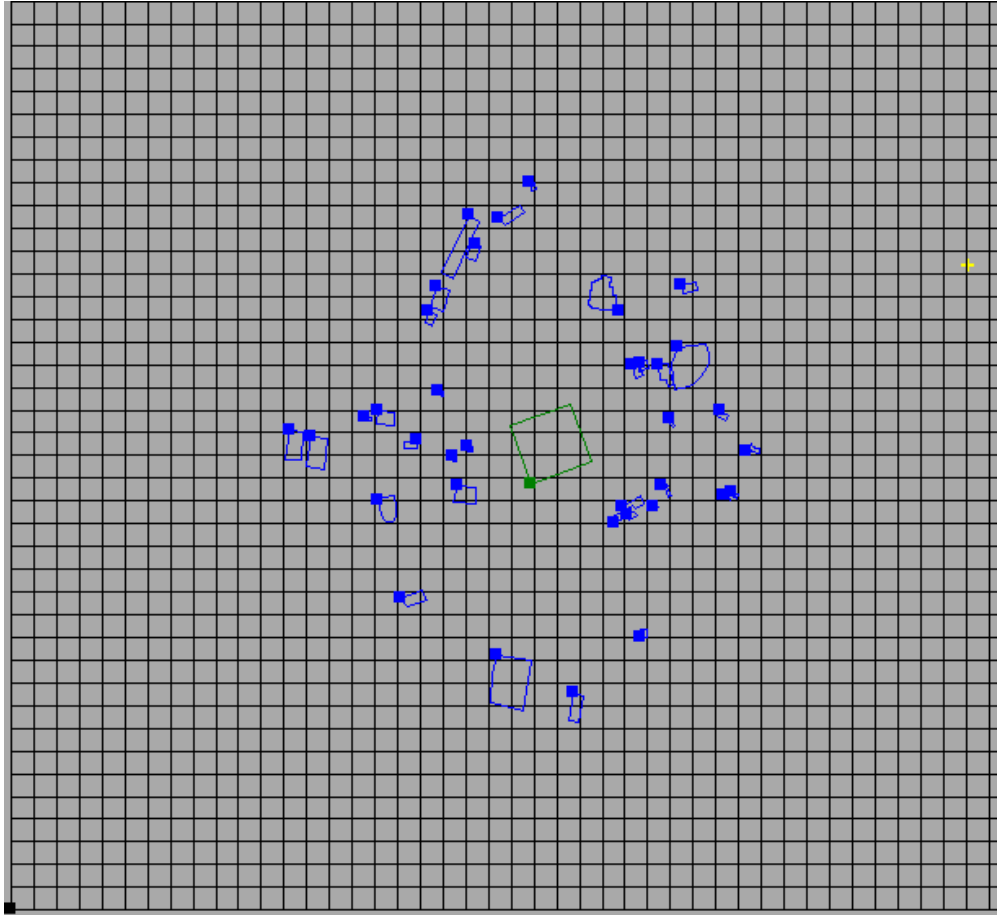
Fuente: Global Mapper.

4.2.3 Aplicación del modelo de dispersión AERMOD Breeze para las emisiones de ácido sulfhídrico generado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Río Frio para la zona de estudio.

Utilizando los datos recolectados con anterioridad (meteorología, topografía, rata de emisión), se inició la etapa de aplicación del modelo BREEZE AERMOD.

Uno de los aspectos importantes para la modelación fue la realización de una malla de receptores, la cual es una separación en cuadrícula que delimita la zona en la que se analizarán las concentraciones de contaminante, en cada uno de los puntos del cruce de dicha cuadrícula será donde el modelo arrojará un dato de resultado. Dentro de esta malla se dibujan, utilizando las herramientas del programa, la fuente de emisión, receptores puntuales y edificios (verde, amarillo y azul, respectivamente en la Ilustración 8), que se

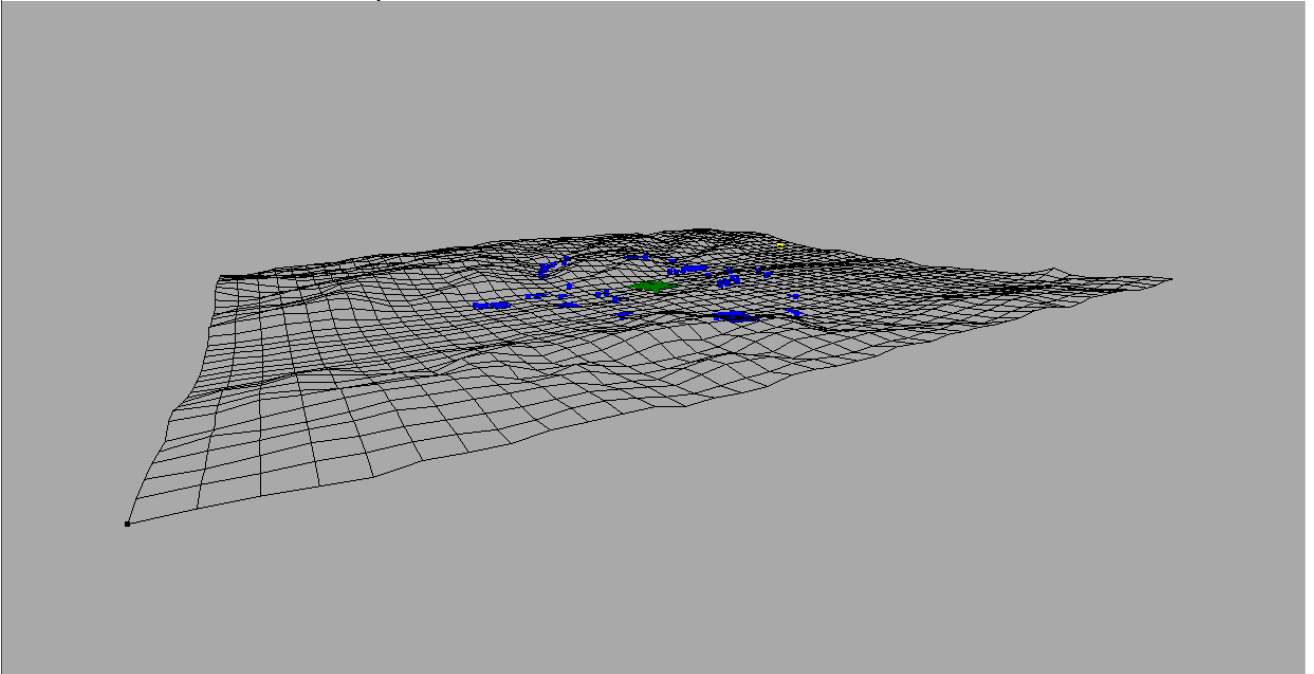
Ilustración 8 Malla de receptores



Fuente: Breeze Aermod-ISC, Autor.

En este caso específico se trazaron los edificios correspondientes a 1 km a la redonda de la fuente de emisión, como lo indica la normatividad colombiana, identificados dentro de la zona de afectación directa y en la cual se deben hacer los estudios pertinentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2014).

Ilustración 9 Malla de receptores 3D



Fuente: Breeze Aermod-ISC, Autor.

Con esta información y algunos de los complementos del modelo: AERMAP, METVIEW y 3D ANALYST. Estos complementos permiten una lectura visual de los resultados facilitando su interpretación y funcionan así:

- AERMAP: es un pre-procesador de topografía; usa los datos del terreno para calcular una altura de influencia representativa, también referida como escala de altura del terreno. Este pre-procesador es usado también para crear grillas de receptores (CURIHUENTRO 2010).
- METVIEW: es el encargado de procesar la información meteorológica para generar la rosa de vientos en intervalos de tiempo específicos o crear un resultado general de todos los datos ingresados al modelo, logrando también personalizar estos resultados para su mejor interpretación.
- 3D ANALYST: es el último complemento que se utiliza en la modelación, este proporciona las gráficas correspondientes a los resultados finales de cada corrida y permite una extrapolación de los datos a Google Earth para identificarlos en el terreno real de estudio.

4.3 Establecimiento de una relación entre los resultados de la modelación y las quejas por olores ofensivos interpuestas por la comunidad.

4.3.1 Análisis de resultados arrojados por el modelo AERMOD

Al finalizar la etapa de modelación, se obtuvieron resultados que mostraron la concentración de las emisiones de H₂S en los puntos analizados lo que permitió un análisis y comparación del comportamiento de este compuesto en el tiempo y el espacio, además de generar valores puntuales comparables con la norma colombiana vigente.

4.3.2 Correlación de los resultados del modelo con las quejas interpuestas por la comunidad

Al finalizar la fase de modelación se realizó una comparación entre los resultados de las corridas y el análisis de las quejas presentadas en la CDMB para evidenciar si las concentraciones de H₂S emitidas por la PTAR de Río Frío tienen una incidencia en esta problemática de olores y si la ubicación de las quejas coincide con las áreas de afectación identificadas por el modelo.


5. RESULTADOS

5.1 Cuantificación de la percepción de la comunidad con la herramienta de verificación de afectación por olores ofensivos sugerida por la Resolución 1541 del 2013 de acuerdo a las condiciones particulares de la PTAR de Río Frio.

5.1.1 Aplicación de la herramienta de verificación:

Para la aplicación de la herramienta de verificación se debe establecer por lo menos una queja formal por parte de la comunidad a la CDMB. En cumplimiento de lo anterior se buscó en las bases de datos de quejas de los años 2014 y 2015 pertenecientes a la autoridad ambiental; en el proceso de búsqueda se decidió utilizar la última queja sobre olores ofensivos producidos por la PTAR de Río Frio presentada en el año 2015, la cual fue tramitada por ZONA FRANCA en la fecha correspondiente al 27 de agosto del 2015, con numero de radicado 13627, la cual se muestra a continuación:

Ilustración 10 Solicitud de Zona Franca a la CDMB



RF/193/2015

Floridablanca, 27 de agosto de 2015

Doctor:
NEVY WALDINO VILLAMIL VÁSQUEZ
Subdirector de evaluación y control ambiental – SEYCA –
Cra. 23 #37-63, Bucaramanga, Santander

C O R R E - R E C I B I D O
28AUG15 08:11:15 13627

Referencia: Olores Ofensivos Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frio

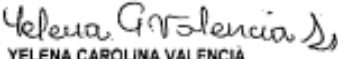
Dando alcance los oficios provenientes de la Autoridad Ambientales No. 009403 de fecha 2 de julio 2014 y el 013870 del 29 de septiembre de 2014, según los cuales, nos indicaron que se han efectuado visitas de seguimiento y se nos informó que una vez entrara en vigor la resolución 1541 de 2013, se solicitaría a la Empresa EMPAS la presentación del Plan de Reducción de Impacto por Olores Ofensivos (PRIO), en el que se presentarían las actividades tendientes a reducir los olores percibidos por nuestros usuarios en condición de receptores sensibles.

En tal virtud requerimos nuevamente a la Autoridad Ambiental – CDMB – a fin de que nos informen si ha podido articular con la empresa EMPAS acciones encaminadas a la prevención y minimización de los impactos ambientales, relacionadas con la generación de olores ofensivos, tales como:

- Causas que dan origen a los olores ofensivos.
- Registro del tipo y concentración de los gases emitidos por la PTAR Río Frio que puedan afectar la salud de las personas o que se consideren olores ofensivos de acuerdo con la definición consagrada en el Decreto 948 de 1995 en concordancia con la Resolución 1541 de 2013.
- ¿Cuáles acciones específicas han desplegado frente al tema de la referencia?
- ¿Cuáles proyecciones se tienen previstas frente al tema?

Agradecemos su acostumbrada colaboración y gestión al respecto, y cualquier inquietud o información adicional la atenderemos en nuestras oficinas ubicadas en el Kilómetro 3.981 Anillo Vial Río Frio Floridablanca, Santander o al teléfono 6798080 extensión 123 o vía electrónica al correo: ambiental@zonafrancasantander.com.

Cordialmente,


YELENA CAROLINA VALENCIA
Interventora ambiental
ZONA FRANCA SANTANDER S.A

Kilómetro 4 ANILLO VIAL RÍO FRÍO, Edificio SUZA VITA Oficina 101
Tel (57+7)6798080
Floridablanca, Santander, Colombia
E – mail: ambiental@zonafrancasantander.com
Skype: [geneciazfs](https://www.skype.com/user/geneciazfs)
www.zonafrancasantander.com

Fuente: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

En respuesta a la reiteración de una queja como se evidencia en la ilustración anterior, la CDMB inició el respectivo proceso de aplicación de la Resolución 1541 del 2013 en la zona aledaña a la PTAR de Río Frío y así poder responder de forma eficiente y dar comienzo a un proceso de análisis de la problemática expuesta en la queja.

5.1.2 Diseño del muestreo:

El diseño del muestreo se realizó como se indica en la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-6012-1, asegurando así mayor eficiencia en el proceso de encuestas y estar dentro de los siguientes parámetros pedidos por la misma:

- **Visita de campo Inicial:**

Se realizó una visita de campo inicial al lugar donde se encuentra ubicada la posible fuente de emisión de olores ofensivos que han percibido los residentes de la vereda Río Frío, y efectivamente se evidenció la presencia de un olor intolerablemente fuerte.

- **Selección del área de estudio**

Por ser una sola fuente de emisión se estableció un radio de acción de 1 km alrededor de dicha fuente, se identificaron dentro de la zona de afectación un total de 155 predios para aplicación del muestreo.

- **Recolección de datos**

Para la recolección de datos se escogió el procedimiento de entrevistas orales aplicando la herramienta (Encuesta) con previo consentimiento informado de la persona encuestada. El total de predios existentes en las zonas identificadas como zonas de afectación equivale a 155 predios (dato para determinar la muestra). La aplicación de cada encuesta según prueba piloto realizada tuvo una duración de hasta 20 minutos por persona.

Determinación matemática de la muestra:

Para determinar la muestra se utilizó la fórmula estadística propia del muestreo aleatorio simple y más utilizada en estudios de investigación de las ciencias sociales:

$$\frac{k^2 N p q}{e^2 (N - 1) + k^2 p q}$$

N: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

K: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%. Los valores de k se obtienen de la tabla de la distribución normal estándar N (0,1).

Los valores de k más utilizados y sus niveles de confianza son:

Valor de k	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,24	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%

e: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtuvo preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella. Para este estudio se eligió un error muestral del 5%.

p: proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.

q: proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

$$n = \frac{1.96^2 * 155 * 0.5 * 0.5}{0.05^2(155 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

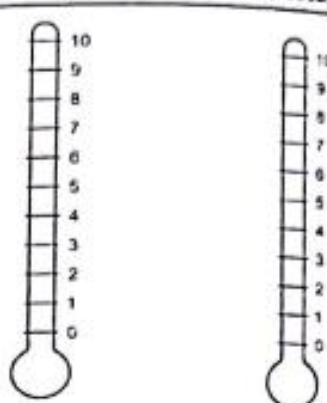
$$n = 110.64 = \mathbf{111 \text{ encuestas en total.}}$$

- **Diseño de la encuesta**

Para realizar el diseño de la encuesta se utilizó en modelo base sugerido por la NTC 6012-1 el cual se muestra en las siguientes ilustraciones. Para obtener un mejor resultado

se incorporaron unas preguntas y se separaron de la encuesta las preguntas que eran información personal del encuestado; para obtener esta información se creó otro formato en el cual se autorizó realizar la encuesta (Ilustración 11 e Ilustración 12).

Ilustración 11 Modelo para las encuestas

<p>1. ¿Qué tan seria considera usted la contaminación general en esta área residencial?</p> <p>Ninguna 0 Muy leve 1 Leve 2 Moderada 3 Grave 4 Muy grave 5 Intolerablemente grave 6</p>		<p>4. Supongamos que este es un termómetro para medir la molestia debida a los olores y al ruido del tráfico. 10 significa que los olores y el ruido del tráfico son intolerablemente molestos y 0 significa que ellos no molestan para nada.</p> <p>¿Cómo calificaría usted la molestia debida a los olores y al ruido del tráfico aquí en su área residencial en este termómetro? (Por favor marque las divisiones de la escala)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div>																									
<p>2. ¿Cree usted que los residentes de esta vía son molestados por la contaminación?</p> <p>Por los olores No 0 Si 1 Por el ruido del tráfico No 0 Si 1</p>		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">4.1 Termómetro de molestia para los olores</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">4.2 Termómetro de molestia para el ruido del tráfico</td> </tr> </table>		4.1 Termómetro de molestia para los olores	4.2 Termómetro de molestia para el ruido del tráfico																						
4.1 Termómetro de molestia para los olores	4.2 Termómetro de molestia para el ruido del tráfico																										
<p>3.1 ¿Qué tan fuertes son los olores fuera de la casa/ en la calle?</p> <p>Imperceptible 0 Raramente imperceptible 1 Débil 2 Inconfundible 3 Fuerte 4 Muy fuerte 5 Intolerablemente fuerte 6</p>		<p>5. Por favor indique en esta escala de respuestas su calificación del grado de molestia debido a los olores y al ruido del tráfico.</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">5.1 Olores</th> <th style="text-align: center;">5.2 Ruido del tráfico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ninguna</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Molestia muy leve</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Molestia leve</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Molestia inconfundible</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Molestia grave</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Molestia muy grave</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td>Molestia grave intolerable</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> </tbody> </table>			5.1 Olores	5.2 Ruido del tráfico	Ninguna		0	Molestia muy leve	1	1	Molestia leve	2	2	Molestia inconfundible	3	3	Molestia grave	4	4	Molestia muy grave	5	5	Molestia grave intolerable	6	6
	5.1 Olores	5.2 Ruido del tráfico																									
Ninguna		0																									
Molestia muy leve	1	1																									
Molestia leve	2	2																									
Molestia inconfundible	3	3																									
Molestia grave	4	4																									
Molestia muy grave	5	5																									
Molestia grave intolerable	6	6																									
<p>3.2 ¿Con qué frecuencia son perceptibles los olores fuera de la casa/en la vía?</p> <p>Nunca 0 Una vez por mes y menos 1 Dos a tres veces por mes 2 Una vez por semana 3 Dos a tres veces por semana 4 Casi todos los días 5</p>																											

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 6012-1

Ilustración 12 Modelo para las encuestas

<p>6. ¿Considera usted que la molestia de los residentes en esta vía es tolerable o intolerable?</p> <p>6.1 Debido a los olores Tolerable 0 Intolerable 1</p> <p>6.2 Debido al ruido del tráfico Tolerable 0 Intolerable 1</p> <p>7. ¿Qué tan a menudo los olores tienen los siguientes efectos en usted?:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nunca</th> <th>Rara vez</th> <th>Algunas veces</th> <th>A menudo</th> <th>Muy a menudo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.1 Uno no desea volver a casa</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.2 Perturbador durante la conversación</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.3 Impide conciliar el sueño</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.4 Causa dolores de cabeza</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.5 Causa impotencia</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.6 Causa pérdida de apetito</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.7 Causa náuseas</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.8 Lo despierta a uno en la noche</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>8. ¿Qué tan feliz está usted con su estado actual?</p> <p>Muy feliz 0 Bastante feliz 1 Moderadamente feliz 2 No particularmente feliz 3 Nada feliz 4</p> <p>9. ¿Qué tan sensible se considera usted en general a los olores de todo tipo?</p> <p>Nada sensible 0 Ligeramente sensible 1 Bastante sensible 2 Muy sensible 3 Extremadamente sensible 4</p> <p>10. ¿Cómo o a qué huele fuera de la casa/en la vía?</p>		Nunca	Rara vez	Algunas veces	A menudo	Muy a menudo	7.1 Uno no desea volver a casa	0	1	2	3	4	7.2 Perturbador durante la conversación	0	1	2	3	4	7.3 Impide conciliar el sueño	0	1	2	3	4	7.4 Causa dolores de cabeza	0	1	2	3	4	7.5 Causa impotencia	0	1	2	3	4	7.6 Causa pérdida de apetito	0	1	2	3	4	7.7 Causa náuseas	0	1	2	3	4	7.8 Lo despierta a uno en la noche	0	1	2	3	4	<p>Datos personales</p> <p>Edad: Pregunte por la fecha de nacimiento y cree grupos de edad, según se requiera. Por ejemplo: <20, 21 a 30, 31 a 40, 41 a 50; Límite de edad igual que en el modelo de carta del Anexo B. Edad exacta: _____</p> <p>Sexo: Masculino Femenino</p> <p>(Pregunta complementaria: ¿Por cuánto tiempo ha vivido la persona en esta área y en qué tipo de alojamiento?)</p> <p>Dependiendo del tema particular, puede ser útil recolectar los siguientes datos adicionales:</p> <p>Educación</p> <p>Certificado de salida de escuela básica a 16 Norma GCSE mayor... Norma de entrada a nivel Universitario ...</p> <p>Empleo local</p> <p>a) Empleado ¿Trabaja usted para un empleador en la vecindad (hasta 20 km, 20 min a pie)? Sí / No Si es posible, nombre del empleador y ubicación dentro del área de investigación</p> <p>b) Miembros del hogar ¿Trabaja usted para una empresa en la vecindad? (hasta 20 km, 20 min a pie) Sí / No Si es posible, nombre del empleador y ubicación dentro del área de investigación</p>
	Nunca	Rara vez	Algunas veces	A menudo	Muy a menudo																																																		
7.1 Uno no desea volver a casa	0	1	2	3	4																																																		
7.2 Perturbador durante la conversación	0	1	2	3	4																																																		
7.3 Impide conciliar el sueño	0	1	2	3	4																																																		
7.4 Causa dolores de cabeza	0	1	2	3	4																																																		
7.5 Causa impotencia	0	1	2	3	4																																																		
7.6 Causa pérdida de apetito	0	1	2	3	4																																																		
7.7 Causa náuseas	0	1	2	3	4																																																		
7.8 Lo despierta a uno en la noche	0	1	2	3	4																																																		

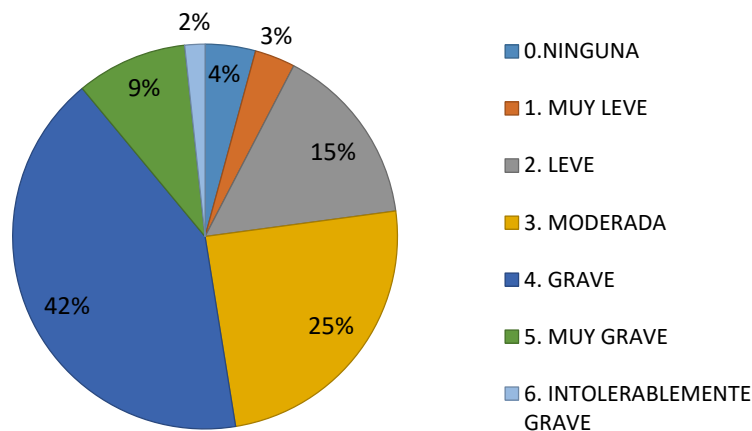
Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 6012-1

5.1.3 Resultados y análisis de las encuestas

Las encuestas se aplicaron con la ayuda de una persona profesional con el título de trabajadora social, ya que la NTC 6012-1 recomienda que este proceso sea guiado por un profesional en este campo, para si obtener un resultado verídico y no se generen conflictos al realizar el proceso.

Con la finalización de las encuestas se comenzó el proceso de análisis, en el cual el primer paso fue tabular todas las encuestas y así generar gráficas representativas de cada pregunta, para su posterior interpretación.

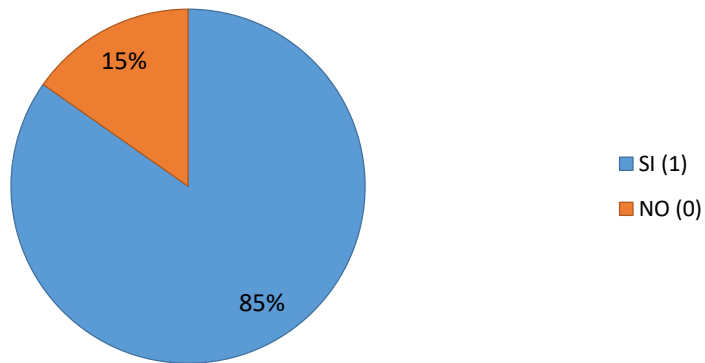
1. ¿QUÉ TAN SERIA CONSIDERA USTED LA CONTAMINACIÓN GENERAL EN ESTA AREA RESIDENCIAL?



Según la encuesta realizada para la mayoría de la población la contaminación general es de gran preocupación, ya que el 42% considera que es grave, un 25% que es moderada y para un 15% es leve. Solo el 4% de la población opina que no existe contaminación.

2. ¿CREE USTED QUE LOS RESIDENTES SON MOLESTADOS POR LA CONTAMINACIÓN?

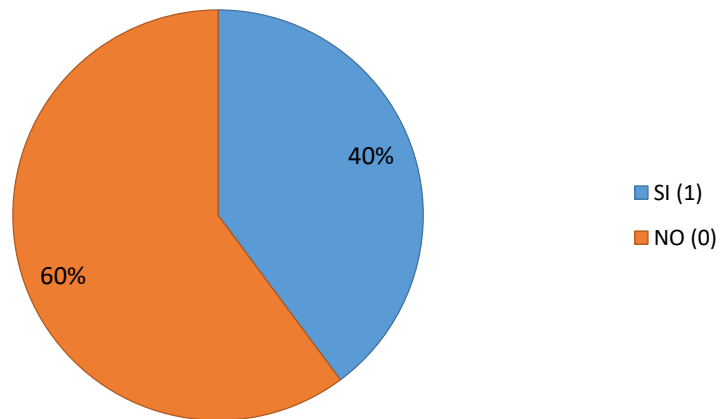
2.1 Por los olores



Para un 85% de la población la contaminación ocasionada por los olores si molesta a los residentes de la comunidad, mientras que solo un 15% de esta considera lo contrario.

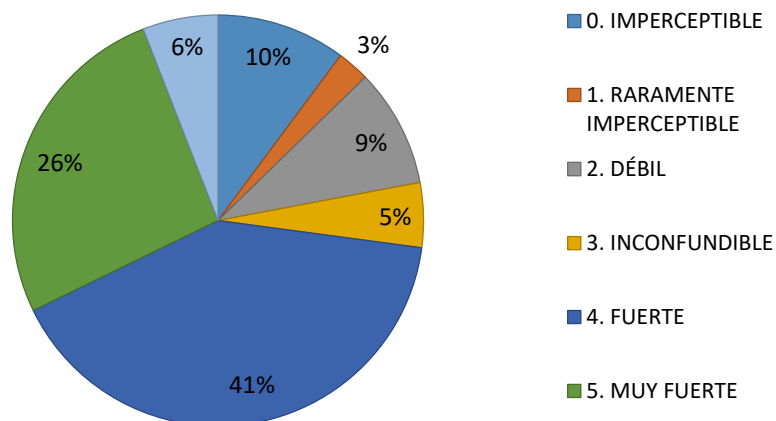
2. ¿CREE USTED QUE LOS RESIDENTES SON MOLESTADOS POR LA CONTAMINACIÓN?

2.2 Por el ruido del tráfico



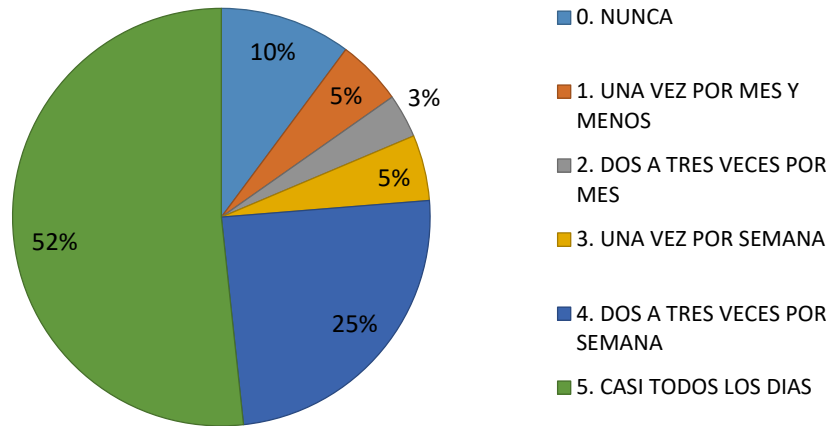
En cuanto a la contaminación ocasionada por el ruido del tráfico el 60% de la población consideró que NO molesta a los residentes de la comunidad mientras que un 40% consideró que si lo hace.

3. ¿QUÉ TAN FUERTES SON LOS OLORES FUERA DE LA CASA/EN LA CALLE?



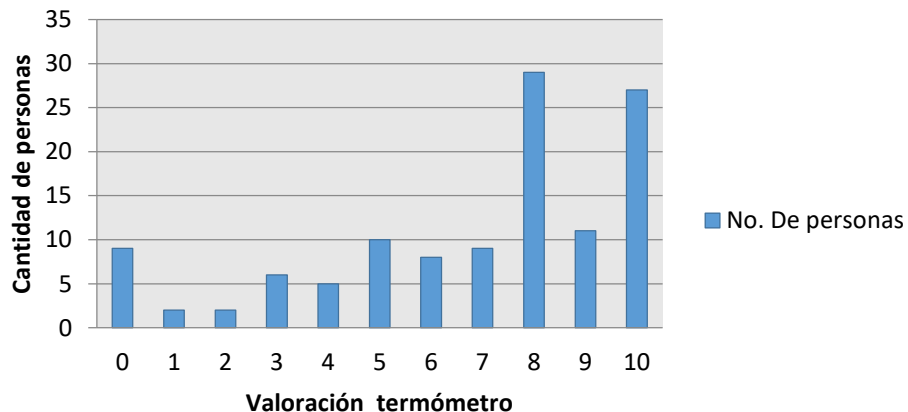
Ante la pregunta ¿Qué tan fuertes son los olores fuera de la casa/ en la calle? Las opiniones de los encuestados permiten evidenciar su inconformidad frente a los olores que normalmente se presentan fuera de casa, ya que el 41% consideran que el olor es fuerte y para un 26% es muy fuerte, mientras que para un 10% el olor es imperceptible.

3.1 ¿CON QUÉ FRECUENCIA SON PERCEPTIBLES LOS OLORES FUERA DE LA CASA/EN LA VIA?

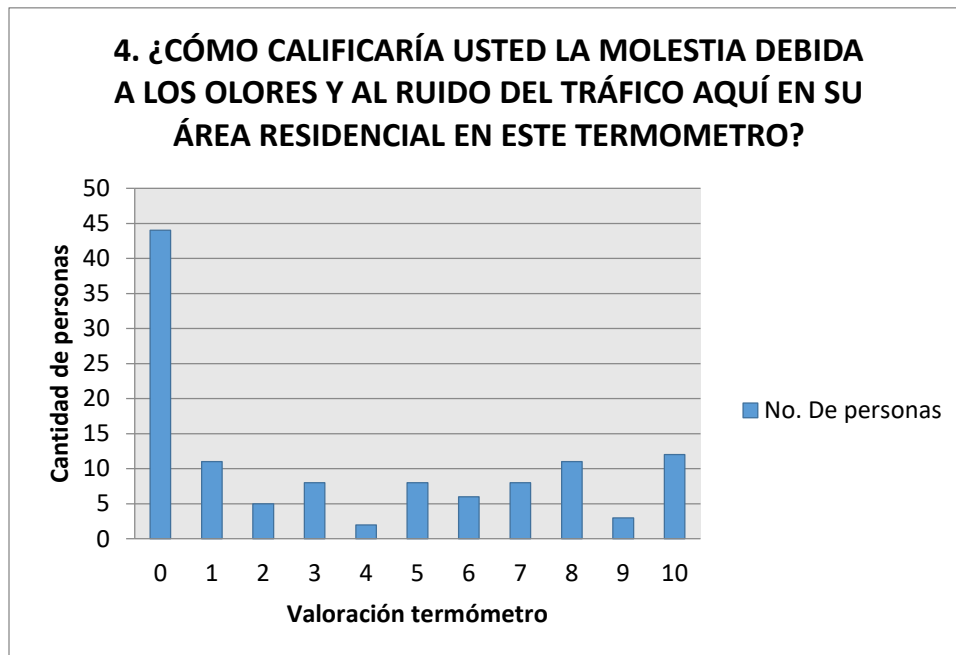


En cuanto a la frecuencia de la percepción de los olores fuera de la casa el 52% de los encuestados respondieron que perciben los olores casi todos los días, un 25% opina que los percibe dos a tres veces por semana, el 13% considera que es de dos a tres veces por mes y una vez por mes y menos, finalmente el 10% de la población asegura que nunca los percibe.

4. ¿CÓMO CALIFICARÍA USTED LA MOLESTIA DEBIDA A LOS OLORES Y AL RUIDO DEL TRÁFICO AQUÍ EN SU ÁREA RESIDENCIAL EN ESTE TERMOMETRO?

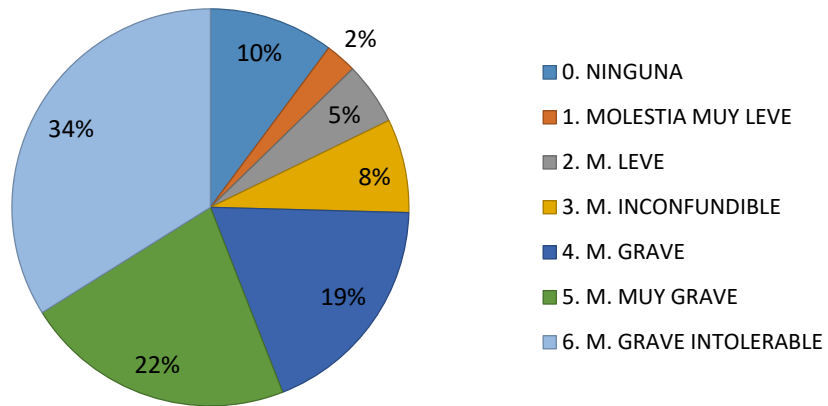


Los habitantes calificaron respecto a la molestia por olores mediante el termómetro de evaluación de 0 a 10 fue alta, ya que 27 de las personas encuestadas calificaron con (10) y otras 29 personas valoraron con (8), y 11 personas con un (9) en el termómetro. Las personas restantes valoraron la molestia entre los rangos de (0-7).



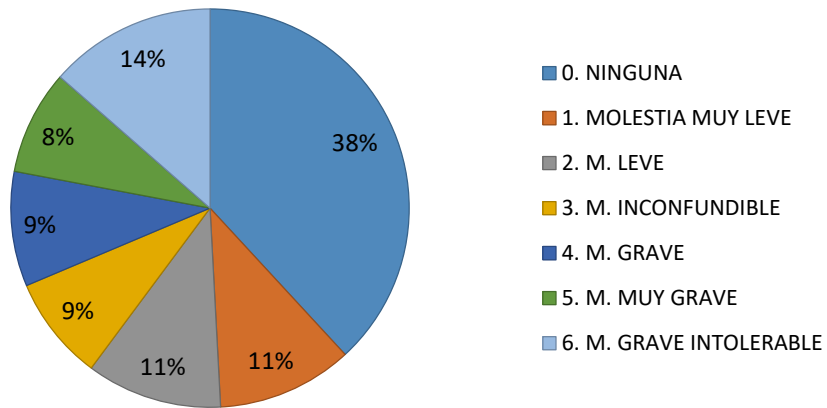
En cuanto a la molestia ocasionada por el ruido del tráfico para 44 de los encuestados la calificación es de (0), para 11 la calificación es de (1) por otra parte 12 personas consideran una evaluación de 10 para esta problemática. Lo que permite observar que la opinión respecto a esta problemática se encuentra dividida entre altas valoraciones y bajas valoraciones, pero predomina una evaluación baja entre 0 y 1.

5.1. POR FAVOR INDIQUE EN ESTA ESCALA DE RESPUESTA SU CALIFICACIÓN DEL GRADO DE MOLESTIA DEBIDO A LOS OLORES Y AL RUIDO DEL TRÁFICO .
Por los olores



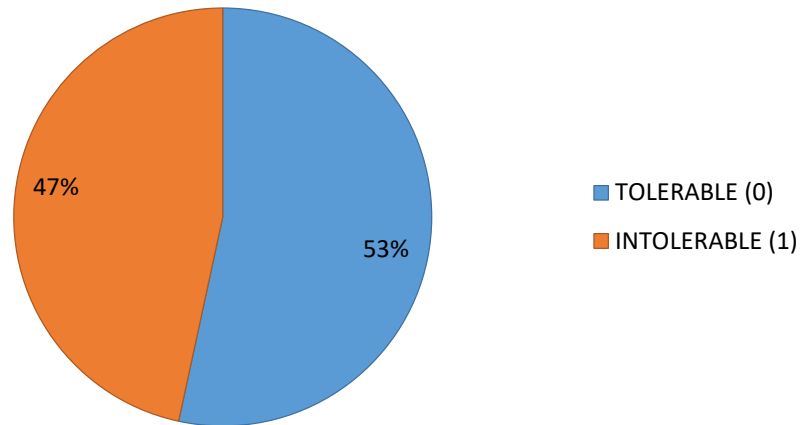
Para los habitantes de la zona el grado de molestia es general es muy grave ya que según su opinión para un 34% es grave intolerable, para un 22% es muy grave y para un 19% es grave. Por el contrario, un 10% considera que no existe ninguna molestia.

5. 2. POR FAVOR INDIQUE EN ESTA ESCALA DE RESPUESTA SU CALIFICACIÓN DEL GRADO DE MOLESTIA DEBIDO A LOS OLORES Y AL RUIDO DEL TRÁFICO .
Ruido del tráfico



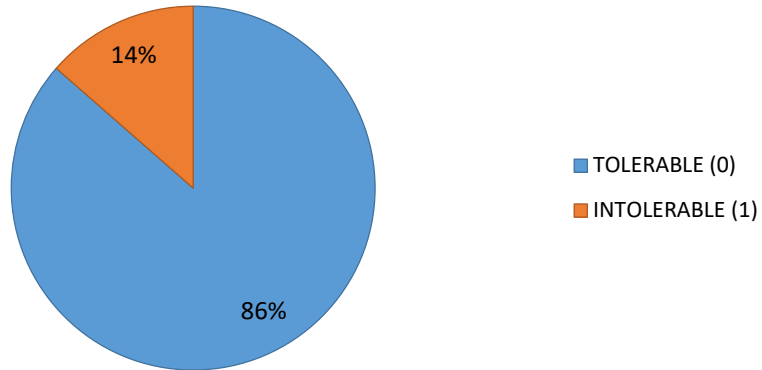
La molestia debido al ruido del tráfico en la zona no es percibida por una parte de los encuestados, ya que un 38% consideran que esta situación no genera ninguna molestia, mientras que la población restante tiene diferentes opiniones un 14% considera que es grave intolerable y un 11% lo considera leve y otro 11% muy leve, para un 9% la situación es inconfundible y el 17% restante lo consideran grave o muy grave.

**6.1. ¿CONSIDERA USTED QUE LA MOLESTIA DE LOS
RESIDENTES EN ESTA VIA ES TOLERABLE O
INTOLERABLE? .
Debido a los olores**



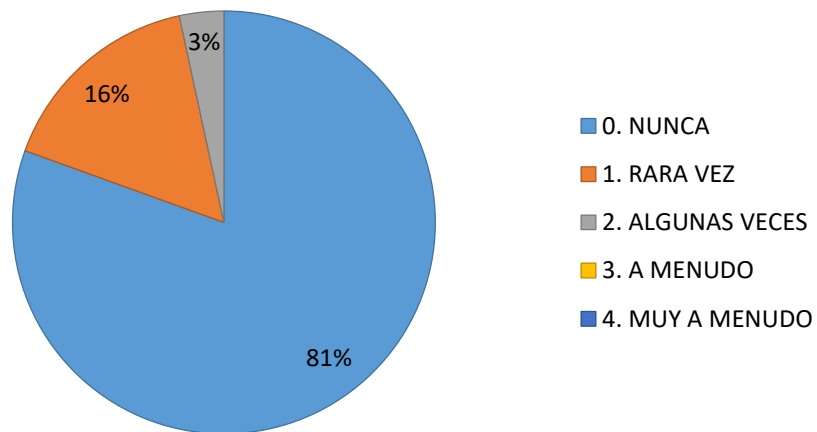
La molestia debido a los olores que se generan en la zona resulta con opiniones divididas ya que para un 53% la situación es tolerable y para el 47% restante es intolerable.

**6. ¿CONSIDERA USTED QUE LA MOLESTIA DE LOS
RESIDENTES EN ESTA VIA ES TOLERABLE O
INTOLERABLE?
Debido al ruido del tráfico**



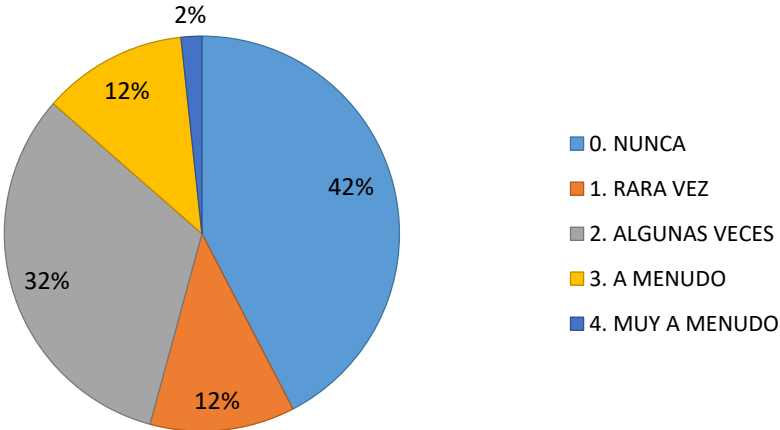
Por otro lado, para la mayoría de la población resulta tolerable la molestia producida por el ruido del tráfico con un 86% y solo un 14% considera que es intolerable.

**7.1. ¿ QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS
SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?
Uno no desea volver a casa**



Para el 81% de los habitantes el deseo de no volver a casa a causa de los olores presentados en la zona nunca se genera, para el 16% se presenta rara vez y para un 3% se presenta algunas veces.

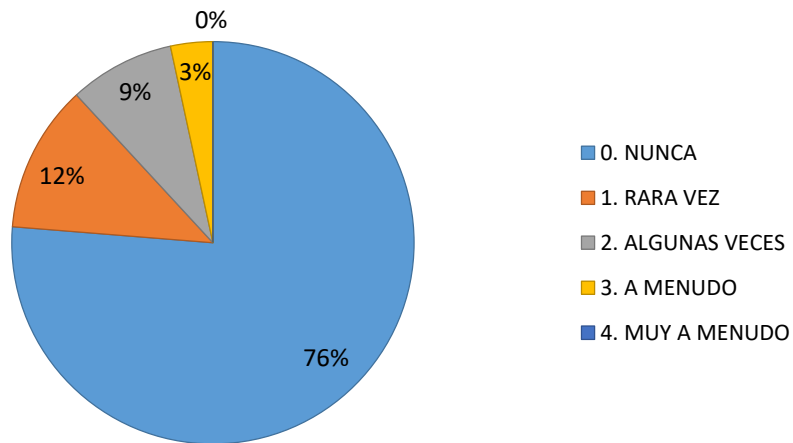
**7.2. ¿ QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?
Perturbador durante la conversación**



Ante la pregunta ¿Qué tan a menudo los olores logran perturbar una conversación? Las respuestas se encontraron totalmente divididas, para el 42% estos olores nunca logran perturbar una conversación, mientras que para el 32% lo hace algunas veces, para un 12% sucede a menudo y para otro 12% rara vez se presenta.

7.3. ¿ QUE TAN A MENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?

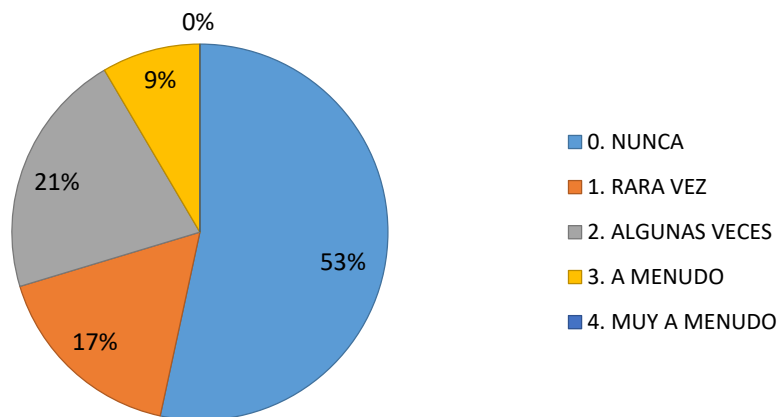
Impide conciliar el sueño



Al momento de dormir el 76% de la población nunca ha presentado inconvenientes para conciliar el sueño a causa de los malos olores, mientras que para un 12% rara vez pasa y un 9% considera que algunas veces sucede.

7.4. ¿QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?

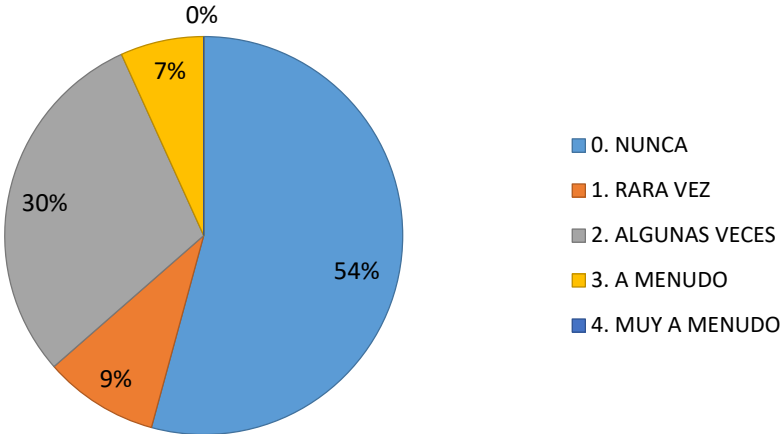
Causa dolores de cabeza



Según los habitantes encuestados en un 53% los olores nunca han generado dolores de cabeza y en contraparte el 21% considera que la frecuencia es algunas veces. Mientras que un 17% considera se presenta rara vez y el 9% a menudo sufren de dolores de cabeza a causa de esta problemática.

7.5. ¿QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?

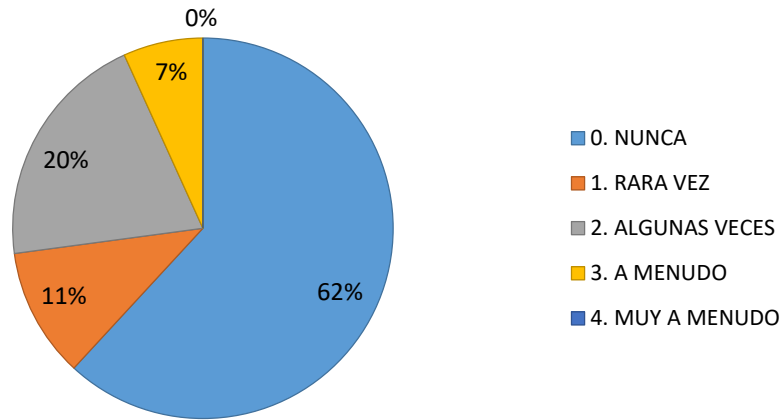
Causa irritabilidad



El 54% de los habitantes encuestados considera que nunca los malos olores han generado irritabilidad, el 30% algunas veces se ha irritado por esos motivos, mientras que para el 9% rara vez y un 7% consideran que se ha presentado a menudo.

7.6. ¿QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?

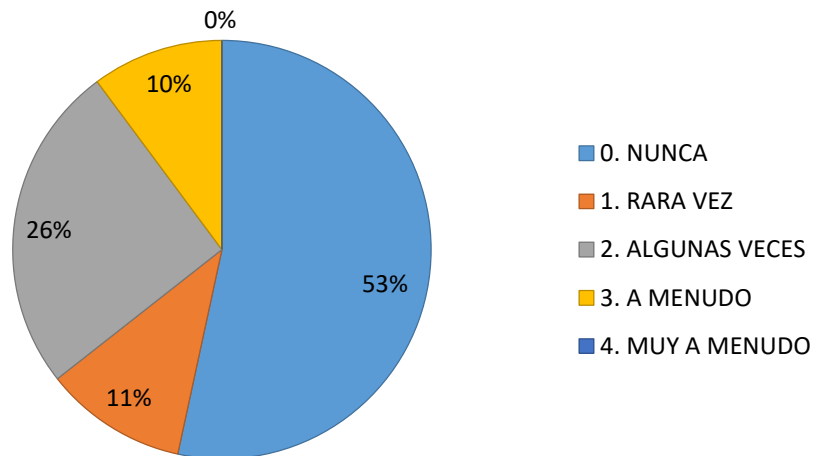
Causa pérdida del apetito



Un 62% la población nunca pierde el apetito a causa de los malos olores, pero para el 20% esta situación se presenta algunas veces y el 11 % rara vez ha perdido el apetito por causa de los malos olores en el área, mientras que el otro 7% considera que esta situación sucede a menudo.

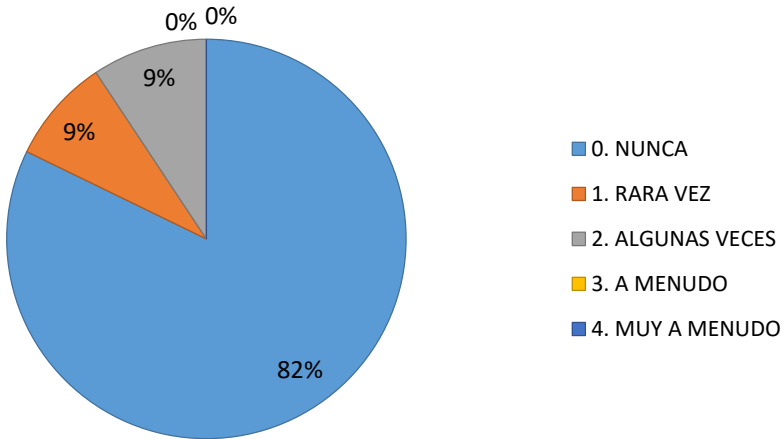
7.7. ¿ QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?

Causa nauseas



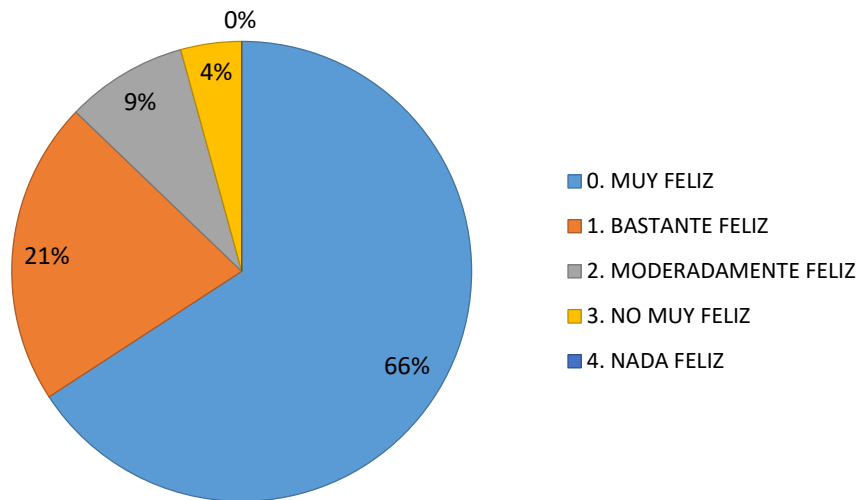
En cuanto que tan a menudo los olores generan náuseas en los moradores, más de la mitad de la población 53% de ellos afirma que nunca presentan náuseas y un 26% afirma que esto se presenta algunas veces, mientras que un 11% de la población asegura que esto se presenta rara vez.

**7.8. ¿ QUE TAN AMENUDO LOS OLORES TIENEN LOS SIGUIENTES EFECTOS EN USTED?
Lo despierta a uno en la noche**



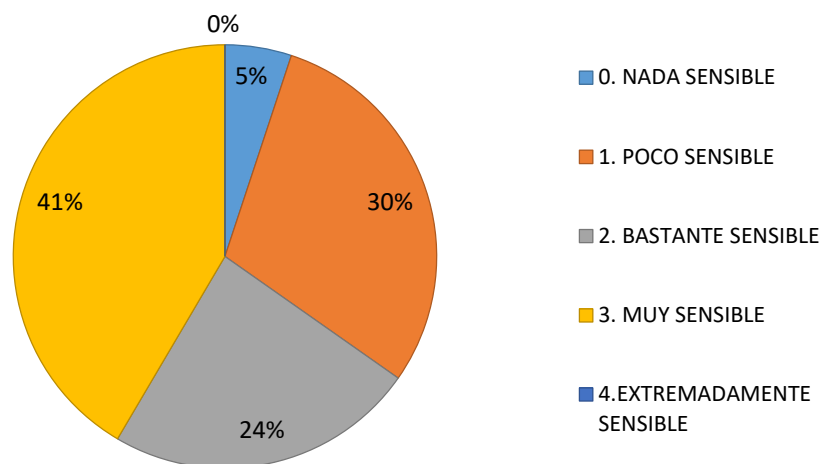
Se indagó a la población si se ha visto afectado sus horas de sueño por los olores molestos en la noche, los resultados obtenidos muestran que un 82% de la población nunca ha pasado por tal circunstancia, para el 9% esto sucede rara vez y para otro 9% sucede algunas veces.

8. ¿QUÉ TAN FELIZ ESTÁ USTED CON SU ESTADO DE SALUD?



Se realiza la pregunta ¿Qué tan feliz está usted con su estado de salud?, el grueso de la población 66% considera sentirse muy feliz respecto al estado de su salud, el 21% se siente bastante feliz y un 9% se siente moderadamente feliz, en contraparte el 4 % de la población no se encuentra muy feliz con su estado de salud.

9. ¿QUÉ TAN SENSIBLE SE CONSIDERA USTED EN GENERAL A LOS OLORES DE TODO TIPO?

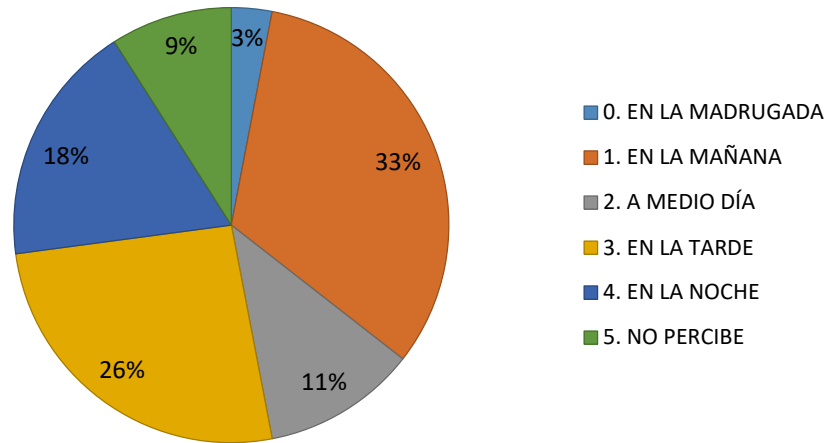


El 41% de la población encuestada considera que es muy sensible en general a los olores de todo tipo, pero a su vez existe un grupo considerable de personas correspondiente al 30% de la muestra los cuales consideran que son poco sensibles y el 5% se consideran nada sensibles en general a los olores de todo tipo.

10. ¿CÓMO O A QUÉ HUELE FUERA DE LA CASA/EN LA VÍA?

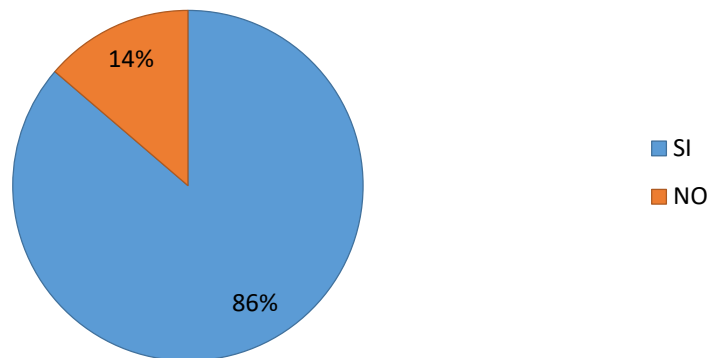
A la pregunta abierta ¿Cómo a que huele fuera de la casa/ en la vía? Los encuestados denominaron algunas palabras con las que se pueden comparar los olores que se presentan en la zona, entre los sustantivos con los que compran dicho olor están: caño, basura, mortecino, aguas pichas, cañería, excrementos, basuras y descompuesto. De esto se puede deducir que para la mayoría de la población encuestada los olores que se presentan son fuertes, desagradables e intolerables. Por otra parte 12 de las personas encuestadas aseguran no percibir ningún olor.

11. ¿EN QUÉ HORARIO DEL DÍA SE PRESENTAN LOS OLORES?



El 33% de la población considera que en las horas de la mañana se pueden percibir los olores molestos con mayor frecuencia, para un 26% se perciben en horas de la tarde y en la noche son percibidos por un 18%, mientras que un 9% aseguran que no los perciben.

12. ¿TRABAJA PARA ALGÚN EMPLEADOR EN LA VECINDAD?



El 86% de los encuestados afirma que Si trabaja para algún empleador de la vecindad y un 14% asegura lo contrario

13. ¿CUAL?

A los encuestados que respondieron que si trabajaban con un empleador de la vecindad se les indago sobre cuál era dicho empleador, a lo cual respondieron:

Mausoleo la Esperanza, Ayazak, G&J, Compañía Pesquera del mar, Colegio Roberto García Peña, Asfaltar, Montallantas, Almacenista, Parqueadero 24 Horas, Tierra Santa, Nissan Taller, Bolo Club el Deportista, Parque Industrial la Fortuna, NutraFood, Sevicol, Zona Franca, CyrgoSAS, Distraves, Frimac, Parque Industrial Simura, Restaurante el Corcel.

- **ANALISIS CUALITATIVO FINAL**

La afectación ambiental por la emisión de olores ofensivos en el sector de Rio frio entre los municipios Girón y Floridablanca es constante y progresiva, a pesar de que algunas personas sostienen que los olores se dan en periodos de tiempo determinado la gran mayoría sostiene que la molestia es intolerable y permanente; por lo cual la autoridad ambiental responsable de la protección y preservación sana y ecológica del medio ambiente hace presencia en dicha zona de carácter principalmente comercial, con el objetivo de atender las quejas interpuestas por la comunidad en la entidad.

La CDMB ha dispuesto de un equipo de trabajo para dar cumplimiento a las labores correspondientes según la demanda de la Resolución 1542 de 2013 y velar por el derecho constitucional fundamental a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, pues su violación atenta directamente contra el bienestar y salud de los seres vivos (comunidad y animales) que se encuentran ligados al medio ambiente que los rodea y en consecuencia de ello, con la perpetuación de la especie humana y el derecho a la vida.

El desarrollo económico y social de la población se encuentra vinculado a las condiciones que el medio ambiente ofrezca garantizando de esta forma su supervivencia, a pesar de que la contaminación es un fenómeno global por el cual se ha trabajado arduamente, existen límites tolerables que al ser traspasados constituyen un perjuicio para el medio

ambiente y la calidad de vida de las personas, que no pueden ser justificables y por lo tanto demandan correctivos.

5.2 Identificación de las zonas de mayor afectación por medio de la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

5.2.1 Determinación de factores de emisión de H₂S en procesos de tratamiento de aguas residuales similares al de la PTAR de Río Frio.

A partir de las ecuaciones descritas en la sección 4.2.1 se realizaron los siguientes cálculos para la rata de emisión:

Los datos utilizados fueron obtenidos por medio de consultas a documentos realizados por el EMPAS y que son de uso público (GARCÍA 2013); también se complementó la información por medio de una visita de campo realizada a la PTAR, en la cual se obtuvieron las características de la fuente de emisión.

Volumen de agua: 1.260.000m³/ mensual

$$\frac{1.260.000m^3}{1 \text{ mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ dias}} = \frac{42.000m^3}{1 \text{ dia}}$$

Para la adecuación del volumen de agua que se maneja en PTAR en promedio diario, se restó 21.772 m³, dato correspondiente al volumen de la laguna facultativa que se encuentra sin uso en la actualidad.

$$42.000 - 21772 = 20228m^3/dia$$

Volumen de las fuentes de emisión:

- **Reactores:**

$$4 * 550m^3 = 2200m^3$$

$$1 * 1000m^3 = 1000m^3$$

- **Laguna:** área superficial **14.514,6m²**

$$1 * 21.772m^3 = 21.772m^3$$

$$2200m^3 + 1000m^3 + 21.772m^3 = \mathbf{24.972m^3}$$

García (GARCÍA 2013), refiere que la cantidad de biogás generado por la PTAR de Río Frío tiene un valor de 222000 m³/mensual. Estudios de caracterización de biogás indican

que el contenido de H₂S presente en este puede variar entre el 0.1% al 1% (Guardado Chacón 2006); ya que el EMPAS no posee un dato específico acerca de este contenido se aplicaron los cálculos en tres escenarios posibles dentro de este rango, como se observa a continuación:

Biogás generado en la PTAR: 222000 m³/mensual

- ME: Mejor escenario concentración de H₂S del 0.1%
- EM: Escenario medio concentración de H₂S del 0.5%
- PE: Peor escenario concentración de H₂S del 1%

Concentración promedio de H₂S (ppm)

ME: 222000*0.1%= 222 m³ H₂S

$$ppm = \frac{222m^3 H_2S}{222000m^3} * \frac{10^6 cm^3 H_2S}{1m^3 H_2S} = 1000ppm$$

EM: 222000*0.5%= 1110 m³ H₂S

$$ppm = \frac{1110m^3 H_2S}{222000m^3} * \frac{10^6 cm^3 H_2S}{1m^3 H_2S} = 5000ppm$$

PE: 222000*1%= 2220 m³ H₂S

$$ppm = \frac{2220m^3 H_2S}{222000m^3} * \frac{10^6 cm^3 H_2S}{1m^3 H_2S} = 10000ppm$$

Concentración en masa:

ME (1000ppm)

$$C_{mass} = \left(\frac{1000 * 1000 * 34 \frac{g}{mol} * 1atm}{0,082 \frac{atm * L}{mol * L} * 298K} \right) * 10^{-6} = 1,391 \frac{g}{m^3}$$

EM (5000ppm)

$$C_{mass} = \left(\frac{1000 * 5000 * 34 \frac{g}{mol} * 1atm}{0,082 \frac{atm * L}{mol * L} * 298K} \right) * 10^{-6} = 6,956 \frac{g}{m^3}$$

PE (10000ppm)

$$C_{mass} = \left(\frac{1000 * 10000 * 34 \frac{g}{mol} * 1atm}{0,082 \frac{atm * L}{mol * K} * 298K} \right) * 10^{-6} = 13,913 \frac{g}{m^3}$$

Concentración de H₂S expedito

$$Vol_{exp} = Vol_{fuente} - Vol_{agua}$$

$$Vol_{exp} = 24972m^3 - 20228m^3 = 4744 m^3$$

ME

$$H_2S_{exp} = \frac{4744m^3 * 1,391 \frac{g}{m^3}}{86400 \text{ seg}} = 0,076 \frac{g}{s}$$

ES

$$H_2S_{exp} = \frac{4744m^3 * 6,956 \frac{g}{m^3}}{86400 \text{ seg}} = 0,382 \frac{g}{s}$$

PE

$$H_2S_{exp} = \frac{4744m^3 * 13,913 \frac{g}{m^3}}{86400 \text{ seg}} = 0,764 \frac{g}{s}$$

Calculo rata de emisión

$$RE = \frac{H_2S_{exp}}{ASup}$$

ME

$$RE = \frac{0,076 \frac{g}{s}}{14.514,6m^2} = 0,0000052 \frac{g/s}{m^2}$$

EM

$$RE = \frac{0,382 \frac{g}{s}}{14.514,6m^2} = 0,000026 \frac{g/s}{m^2}$$

PE

$$RE = \frac{0,774 \frac{g}{s}}{14.514,6m^2} = 0,000052 \frac{g/s}{m^2}$$

Este resultado final para cada escenario corresponde al valor de la tasa de emisión solicitado por el modelo dentro de la información básica de la fuente, en este caso la PTAR.

5.2.2 Recolección de la información topográfica y meteorológica de la zona de estudio.

Los archivos de topografía mencionados en la sección 4.2.2 que incluyen las coordenadas UTM y la elevación del terreno (Ilustración 13), son ingresados al modelo para ubicar en el mismo los elementos físicos del radio de análisis. En esta modelación se generó un archivo DEM (Ilustración 14) con un terreno de 8 km de radio (más grande que lo indicado por la norma, 1 km) evitando así que los datos resultantes tuvieran límites muy estrictos y el modelo pudiera tener algún error.

Ilustración 13. Datos de Global Mapper en Breeze – Elevación del terreno

Gridded Receptor Network - M001

Grid Parameters Receptor Elevations Hill Height Scales Flagpole Receptor Heights

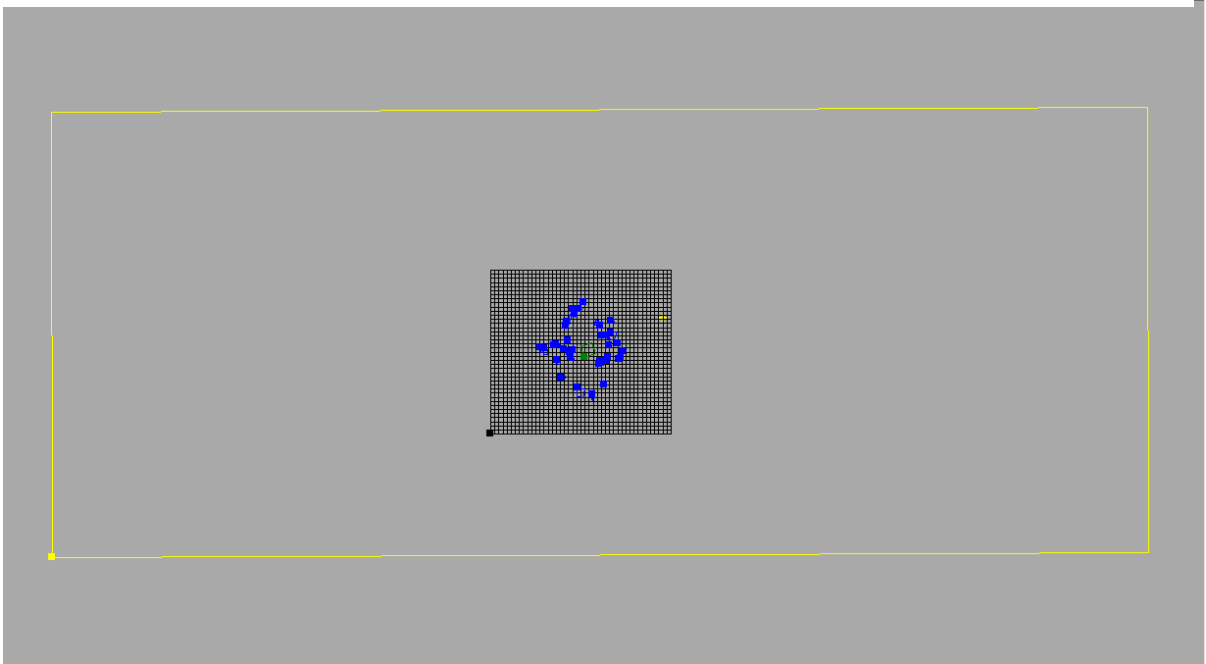
Receptor elevations (meters)

Y\X	704131	704231	704331	704431	704531	704631
3140	741.5	743.7	754.2	757.1	753.7	753.7
3040	757.1	745.9	770.9	783.4	775.8	776.6
2940	781.1	749.1	766.0	804.6	809.3	811.1
2840	796.0	768.5	757.2	774.9	804.2	825.5
2740	804.2	782.6	783.5	764.7	771.2	785.1
2640	811.5	798.1	804.5	776.6	768.0	768.0
2540	831.3	824.6	801.0	791.2	784.2	789.0
2440	825.9	830.3	811.2	805.0	808.1	807.0
2340	826.6	832.1	834.1	835.1	829.1	828.0
2240	836.0	838.6	836.2	832.8	808.0	799.0
2140	835.0	834.4	812.0	790.8	780.0	782.0
2040	831.7	811.6	782.7	775.2	779.1	802.0
1940	822.1	786.0	768.0	777.4	801.4	822.0
1840	790.1	772.6	775.3	803.0	811.8	806.0
1740	769.9	762.2	769.6	789.2	780.2	796.0
1640	752.0	754.9	761.4	763.3	777.3	800.0
1540	759.2	783.8	788.3	786.2	799.6	817.0

OK Cancel Help >

Fuente: Breeze Aermod-ISC, Autor

Ilustración 14 Archivo DEM de 8 km vs malla 2 km



Fuente: Breeze Aermod-ISC

La adquisición de información meteorológica se realizó por medio de la empresa especializada METEOCOLOMBIA, debido a la falta de una estación meteorológica de libre acceso con datos confiables y completos cerca al sitio de análisis.

La información entregada por METEOCOLOMBIA, evidenciada en el anexo 1, fue recibida en archivos .PFL y .SFC, extensiones requeridas por Breeze como datos de ingreso y contiene datos meteorológicos del 1 de enero del 2014 al 31 de diciembre del 2015, esta información se visualiza en el modelo de la siguiente manera:

Ilustración 15 Archivo meteorológico .SFC

BREEZE MetView - [FLORIDABLANCA.SFC]

File Edit Windows Help

WindrosePlot Windrose Table Data Table DataTimePlot DataRosePlot DataRose Table

Go To/Find

Date

Date Range

Period AllDaysAnd...

Start Date 01/01/2014

End Date 31/12/2015

Start Hour 1

End Hour 24

Data

FLORIDABLANCA.SFC

Sensible Heat Fl.

Friction Velocity...

Conv. Vel. Scal...

Vert. Pot. Temp...

Conv. Mix. Hgt...

Mech. Mix. Hgt...

Monin-Obukov...

Surface Rough...

Bowen Ratio

Albedo

Wind Speed (m/s)

Wind Dir. (deg)

Wind Ref. Hgt. (m)

Temp. (K)

Temp. Ref. Hgt. ...

Precip. Code

Precip. Rate (m...

Relative Humidit...

Station Pressure...

Cloud Cover (e...

Wind speed adj...

Table Appearance

MissingData LightG.

BackColor White

ForeColor Black

Font Microsoft S...

#	AERMOD Missing Total	Yr	Mon	Day	Jul. Day	Hr	Sensible Heat Flux (W/m ²)	Friction Velocity (m/s)	Conv. Vel Scale (m/s)	Vert. Pot. Temp. (°K/m)	Conv. Mix. Hgt. (m)	Mech. Mix. Hgt. (m)	Monin-Obukov Lng. (m)	Surface Rough. (m)	Bowen Ratio	Albedo	Wind Speed (m/s)	Wind Dir. (deg)	Wind Ref. Hgt. (m)	Temp. (°K)	Temp. Ref. Hgt. (m)	Precip. Code	Precip. Rate (mm/hr)	Rel Hum. (%)
Minimum	0	14	1	1	1	1	-64.0	0.019	0.028	0.005	13	6	-8888.0	0.050	0.40	0.16	0.00	0	10.0	283.9	2.0	0	0.00	
Maximum	0	15	12	31	365	24	240.2	0.966	2.179	0.014	1866	2269	8888.0	0.400	0.80	1.00	12.90	360	10.0	304.4	2.0	0	42.42	
Missing	0						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15682	
1	0	14	1	1	1	1	-7.8	0.161	-9.000	-9.000	-999	156	43.8	0.050	0.40	1.00	2.60	140	10.0	296.4	2.0	0	-9.00	
2	0	14	1	1	1	2	-5.1	0.105	-9.000	-9.000	-999	82	18.5	0.050	0.40	1.00	2.10	140	10.0	296.0	2.0	0	-9.00	
3	0	14	1	1	1	3	-2.7	0.057	-9.000	-9.000	-999	33	5.4	0.050	0.40	1.00	1.50	140	10.0	295.5	2.0	0	-9.00	
4	0	14	1	1	1	4	-2.8	0.057	-9.000	-9.000	-999	32	5.2	0.050	0.40	1.00	1.50	130	10.0	295.2	2.0	0	-9.00	
5	0	14	1	1	1	5	-2.9	0.057	-9.000	-9.000	-999	32	5.1	0.050	0.40	1.00	1.50	130	10.0	294.9	2.0	0	-9.00	
6	0	14	1	1	1	6	-1.3	0.038	-9.000	-9.000	-999	18	3.4	0.050	0.40	1.00	1.00	150	10.0	294.9	2.0	0	-9.00	
7	0	14	1	1	1	7	-2.3	0.057	-9.000	-9.000	-999	32	6.4	0.050	0.40	0.55	1.50	140	10.0	296.2	2.0	0	-9.00	
8	0	14	1	1	1	8	32.2	0.110	0.687	0.005	327	88	-3.4	0.050	0.40	0.28	1.00	160	10.0	297.2	2.0	0	-9.00	
9	0	14	1	1	1	9	73.0	0.078	1.022	0.005	474	53	-1.0	0.050	0.40	0.21	0.50	290	10.0	298.2	2.0	0	-9.00	
10	0	14	1	1	1	10	105.3	0.165	1.311	0.005	696	161	-3.5	0.050	0.40	0.19	1.50	340	10.0	299.4	2.0	0	-9.00	
11	0	14	1	1	1	11	125.6	0.212	1.503	0.005	878	235	-6.2	0.050	0.40	0.18	2.10	330	10.0	300.5	2.0	0	-9.00	
12	0	14	1	1	1	12	131.7	0.354	1.607	0.005	1022	505	-27.2	0.050	0.40	0.18	4.10	310	10.0	301.4	2.0	0	-9.00	
13	0	14	1	1	1	13	110.9	0.350	1.564	0.005	1119	497	-31.2	0.050	0.40	0.18	4.10	310	10.0	301.6	2.0	0	-9.00	
14	0	14	1	1	1	14	85.2	0.310	1.461	0.005	1186	414	-28.2	0.050	0.40	0.18	3.60	320	10.0	301.8	2.0	0	-9.00	
15	0	14	1	1	1	15	83.6	0.309	1.477	0.005	1249	413	-28.6	0.050	0.40	0.19	3.60	320	10.0	301.9	2.0	0	-9.00	
16	0	14	1	1	1	16	63.5	0.339	1.365	0.005	1294	473	-49.5	0.050	0.40	0.21	4.10	320	10.0	301.9	2.0	0	-9.00	
17	0	14	1	1	1	17	28.0	0.239	1.044	0.005	1313	379	-71.5	0.050	0.40	0.30	3.60	330	10.0	301.1	2.0	0	-9.00	
18	0	14	1	1	1	18	-9.5	0.138	-9.000	-9.000	-999	142	22.5	0.050	0.40	0.62	2.60	320	10.0	300.0	2.0	0	-9.00	
19	0	14	1	1	1	19	-5.0	0.093	-9.000	-9.000	-999	69	12.9	0.400	0.80	1.00	1.50	20	10.0	298.2	2.0	0	-9.00	
20	0	14	1	1	1	20	-4.3	0.093	-9.000	-9.000	-999	68	15.1	0.400	0.80	1.00	1.50	50	10.0	297.9	2.0	0	-9.00	
21	0	14	1	1	1	21	-2.5	0.062	-9.000	-9.000	-999	37	7.6	0.400	0.80	1.00	1.00	80	10.0	297.4	2.0	0	-9.00	
22	0	14	1	1	1	22	-2.0	0.057	-9.000	-9.000	-999	32	7.1	0.050	0.40	1.00	1.50	100	10.0	297.2	2.0	0	-9.00	
23	0	14	1	1	1	23	-0.9	0.038	-9.000	-9.000	-999	18	4.8	0.050	0.40	1.00	1.00	130	10.0	296.9	2.0	0	-9.00	
24	0	14	1	1	1	24	-2.1	0.057	-9.000	-9.000	-999	32	7.1	0.050	0.40	1.00	1.50	130	10.0	296.5	2.0	0	-9.00	
25	0	14	1	2	2	1	-1.2	0.038	-9.000	-9.000	-999	18	3.5	0.050	0.40	1.00	1.00	130	10.0	296.0	2.0	0	-9.00	
26	0	14	1	2	2	2	-0.3	0.019	-9.000	-9.000	-999	6	1.8	0.050	0.40	1.00	0.50	140	10.0	295.6	2.0	0	-9.00	
27	0	14	1	2	2	3	-0.3	0.019	-9.000	-9.000	-999	6	1.7	0.050	0.40	1.00	0.50	100	10.0	295.1	2.0	0	-9.00	
28	0	14	1	2	2	4	-1.2	0.038	-9.000	-9.000	-999	18	3.6	0.050	0.40	1.00	1.00	110	10.0	295.4	2.0	0	-9.00	
29	0	14	1	2	2	5	-0.3	0.019	-9.000	-9.000	-999	6	1.8	0.050	0.40	1.00	0.50	140	10.0	294.9	2.0	0	-9.00	
30	0	14	1	2	2	6	-0.3	0.019	-9.000	-9.000	-999	6	1.7	0.050	0.40	1.00	0.50	150	10.0	294.6	2.0	0	-9.00	
31	0	14	1	2	2	7	-0.9	0.038	-9.000	-9.000	-999	18	4.7	0.050	0.40	0.55	1.00	150	10.0	296.2	2.0	0	-9.00	
32	0	14	1	2	2	8	7.6	0.096	0.393	0.005	258	71	-9.4	0.050	0.40	0.28	1.00	190	10.0	296.8	2.0	0	-9.00	
33	0	14	1	2	2	9	18.2	0.104	0.585	0.005	354	81	-5.0	0.050	0.40	0.21	1.00	230	10.0	297.9	2.0	0	-9.00	
34	0	14	1	2	2	10	26.8	0.108	0.714	0.005	439	85	-3.8	0.050	0.40	0.19	1.00	270	10.0	299.2	2.0	0	-9.00	
35	0	14	1	2	2	11	32.7	0.189	0.811	0.005	526	198	-16.7	0.050	0.40	0.18	2.10	310	10.0	300.4	2.0	0	-9.00	
36	0	14	1	2	2	12	36.4	0.330	0.874	0.005	606	455	-81.6	0.050	0.40	0.18	4.10	300	10.0	300.8	2.0	0	-9.00	
37	0	14	1	2	2	13	123.2	0.352	1.458	0.005	810	501	-28.5	0.050	0.40	0.18	4.10	300	10.0	300.9	2.0	0	-9.00	
38	0	14	1	2	2	14	120.0	0.352	1.521	0.005	943	500	-29.1	0.050	0.40	0.18	4.10	310	10.0	301.2	2.0	0	-9.00	
39	0	14	1	2	2	15	101.5	0.312	1.487	0.005	1012	422	-24.2	0.050	0.40	0.18	3.60	210	10.0	301.4	2.0	0	-9.00	

Fuente: Autor.

Ilustración 16 Archivo meteorológico .PFL

The screenshot shows the BREEZE MetView software window titled "[FLORIDABLANCA.PFL]". The interface includes a menu bar (File, Edit, Windows, Help) and a toolbar. On the left, there are several panels: "Go To/Find", "Date Range", "Data", and "Table Appearance". The "Data" panel is expanded to show "FLORIDABLANCA.PFL" with various meteorological parameters checked. The "Table Appearance" panel shows settings for missing data, background color, foreground color, and font.

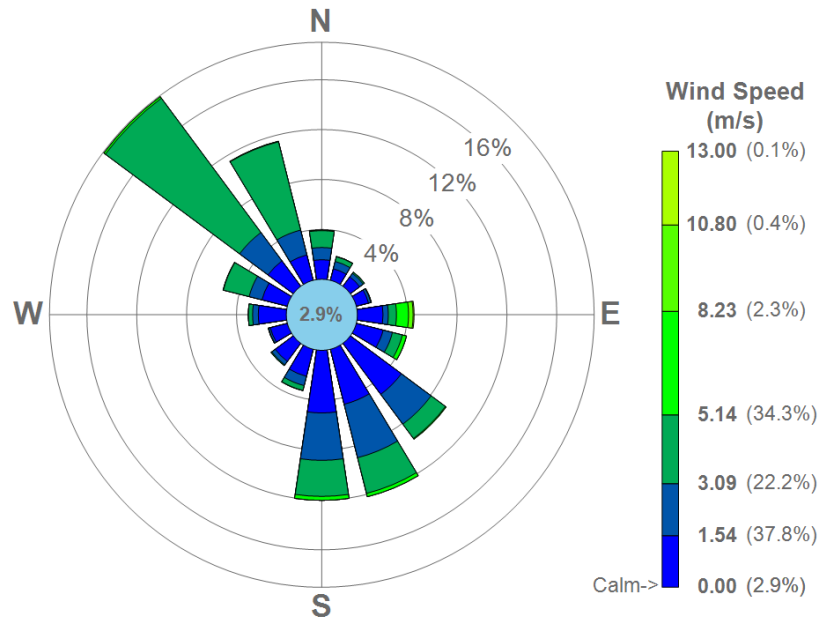
The main data table is titled "Data Table" and has the following columns: #, Yr, Mon, Day, Hr, Height (m), Top (0 -1), Wind Dir. (deg), Wind Speed (m/s), Temp. (°C), Sigma Lat. Wind, and Sigma Vrt. Wind. The table contains 33 rows of data, with the first row highlighted in blue. The data shows a minimum temperature of 10.8°C and a maximum of 31.3°C, with wind speeds ranging from 0.00 to 4.10 m/s.

#	Yr	Mon	Day	Hr	Height (m)	Top (0 -1)	Wind Dir. (deg)	Wind Speed (m/s)	Temp. (°C)	Sigma Lat. Wind	Sigma Vrt. Wind
Minimum	14	1	1	1	10.0	1	0	0.00	10.8	0.0	0.00
Maximum	15	12	31	24	10.0	1	360	12.90	31.3	0.0	0.00
Missing			0	0				0		17520	17520
1	14	1	1	1	10.0	1	140	2.60	23.3	99.0	99.00
2	14	1	1	2	10.0	1	140	2.10	22.9	99.0	99.00
3	14	1	1	3	10.0	1	140	1.50	22.4	99.0	99.00
4	14	1	1	4	10.0	1	130	1.50	22.1	99.0	99.00
5	14	1	1	5	10.0	1	130	1.50	21.8	99.0	99.00
6	14	1	1	6	10.0	1	150	1.00	21.7	99.0	99.00
7	14	1	1	7	10.0	1	140	1.50	23.1	99.0	99.00
8	14	1	1	8	10.0	1	160	1.00	24.1	99.0	99.00
9	14	1	1	9	10.0	1	290	0.50	25.1	99.0	99.00
10	14	1	1	10	10.0	1	340	1.50	26.2	99.0	99.00
11	14	1	1	11	10.0	1	330	2.10	27.4	99.0	99.00
12	14	1	1	12	10.0	1	310	4.10	28.2	99.0	99.00
13	14	1	1	13	10.0	1	310	4.10	28.5	99.0	99.00
14	14	1	1	14	10.0	1	320	3.60	28.6	99.0	99.00
15	14	1	1	15	10.0	1	320	3.60	28.8	99.0	99.00
16	14	1	1	16	10.0	1	320	4.10	28.7	99.0	99.00
17	14	1	1	17	10.0	1	330	3.60	28.0	99.0	99.00
18	14	1	1	18	10.0	1	320	2.60	26.9	99.0	99.00
19	14	1	1	19	10.0	1	20	1.50	25.1	99.0	99.00
20	14	1	1	20	10.0	1	50	1.50	24.8	99.0	99.00
21	14	1	1	21	10.0	1	80	1.00	24.2	99.0	99.00
22	14	1	1	22	10.0	1	100	1.50	24.1	99.0	99.00
23	14	1	1	23	10.0	1	130	1.00	23.7	99.0	99.00
24	14	1	1	24	10.0	1	130	1.50	23.4	99.0	99.00
25	14	1	2	1	10.0	1	130	1.00	22.9	99.0	99.00
26	14	1	2	2	10.0	1	140	0.50	22.5	99.0	99.00
27	14	1	2	3	10.0	1	100	0.50	22.2	99.0	99.00
28	14	1	2	4	10.0	1	110	1.00	22.0	99.0	99.00
29	14	1	2	5	10.0	1	140	0.50	21.8	99.0	99.00
30	14	1	2	6	10.0	1	150	0.50	21.5	99.0	99.00
31	14	1	2	7	10.0	1	150	1.00	23.1	99.0	99.00
32	14	1	2	8	10.0	1	190	1.00	23.6	99.0	99.00
33	14	1	2	9	10.0	1	230	1.00	24.8	99.0	99.00

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la rosa de los vientos generada en el complemento METVIEW del modelo utilizado correspondiente a la meteorología local implicada en este trabajo:

Gráfica 1 Rosa de vientos



Fuente: Autor.

Esta rosa de vientos, muestra la tendencia de la dirección del viento durante el período de análisis.

Como se puede observar la dirección tiende hacia el noroeste siendo este un punto de partida hacia las posibles zonas en donde podrían presentarse mayores concentraciones del contaminante debido a la dispersión de este con respecto al viento.

5.2.3 Aplicación del modelo de dispersión AERMOD Breeze para las emisiones de ácido sulfhídrico generado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Río Frio para la zona de estudio.

Con los datos calculados y recolectados en las secciones anteriores (5.2.1 y 5.2.2) se procedió a ingresar la información en el modelo AERMOD Breeze para su análisis.

Las concentraciones de H₂S presente en las zonas de afectación fueron calculadas por medio del modelo AERMOD Breeze, los resultados descritos a continuación fueron analizados con respecto a promedios de 1 y 24 horas de exposición, como indica la norma (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2013), los cuales indican los niveles de exposición de H₂S en estos tiempos después de la emisión.

- **MEJOR ESCENARIO**

En este escenario se manejó la concentración más baja de H₂S presente en el biogás. Como puede observarse en la Gráfica 2 Gráfica 1 para el caso de una hora de exposición se obtuvieron concentraciones máximas con un valor de 1677.687 µg/m³ y mínimas evidenciadas en las zonas más alejadas de 1.753 µg/m³, lo que indica que la concentración del contaminante disminuye drásticamente durante la dispersión en el espacio.

En el caso del periodo de 24 horas (Gráfica 2) también se encontró presencia de H₂S con rangos que oscilan entre los 448,5 µg/m³ a 0,1 µg/m³, evidenciando que la presencia del contaminante disminuye de forma gradual en el tiempo.

Es importante tener en cuenta en este y los otros escenarios evaluados que la planta de Río Frío tiene un funcionamiento constante y durante el día puede generar mayores emisiones de H₂S en situaciones donde la operación de la planta aumente su carga orgánica, esto puede ocurrir en horas pico y temporadas vacacionales.

- **ESCENARIO MEDIO**

Este escenario corresponde a una tasa de emisión de 0,5 % de H₂S en el biogás, dando una opción intermedia entre el rango de concentración del contaminante reportado en la literatura (Guardado Chacón 2006), arrojando los resultados evidenciados en la Gráfica 3, en donde se observa que la mayor concentración en el lapso de una hora de exposición es de 8388.4346 µg/m³ el cual va disminuyendo a medida que el viento lo dispersa llegando a un valor mínimo de 8.7628 µg/m³.

En el caso de 24 horas de exposición (Gráfica 3) las concentraciones presentan nuevamente valores menores que a una hora, como es de esperarse, los valores muestran rangos de 2242 µg /m³ hasta 0 µg /m³, siendo este último valor la ausencia de contaminante en zonas alejadas.

Es importante tener en cuenta que en el mejor escenario propuesto sí se presentan concentraciones a 24 horas en zonas alejadas a la fuente por lo que puede inferirse que es la meteorología, las condiciones temporales o incluso la presencia de edificaciones lo que incide en este cambio de comportamiento.

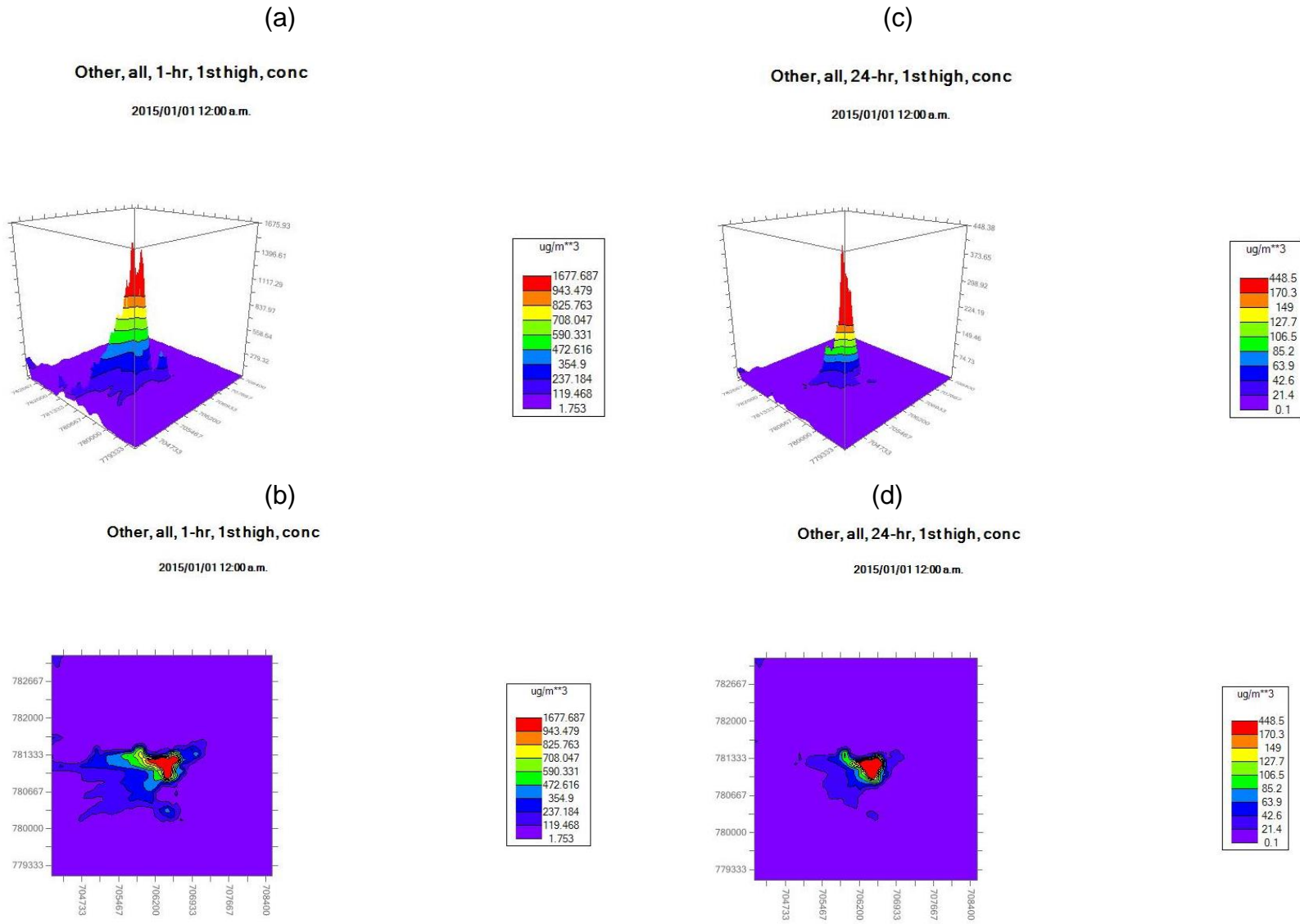
- **PEOR ESCENARIO**

En este último escenario se manejaron los mismos parámetros que en los dos anteriores, con la tasa de emisión más alta utilizada correspondiente a un 1% de H₂S en el biogás, siendo este el escenario menos favorable en comparación con los anteriores.

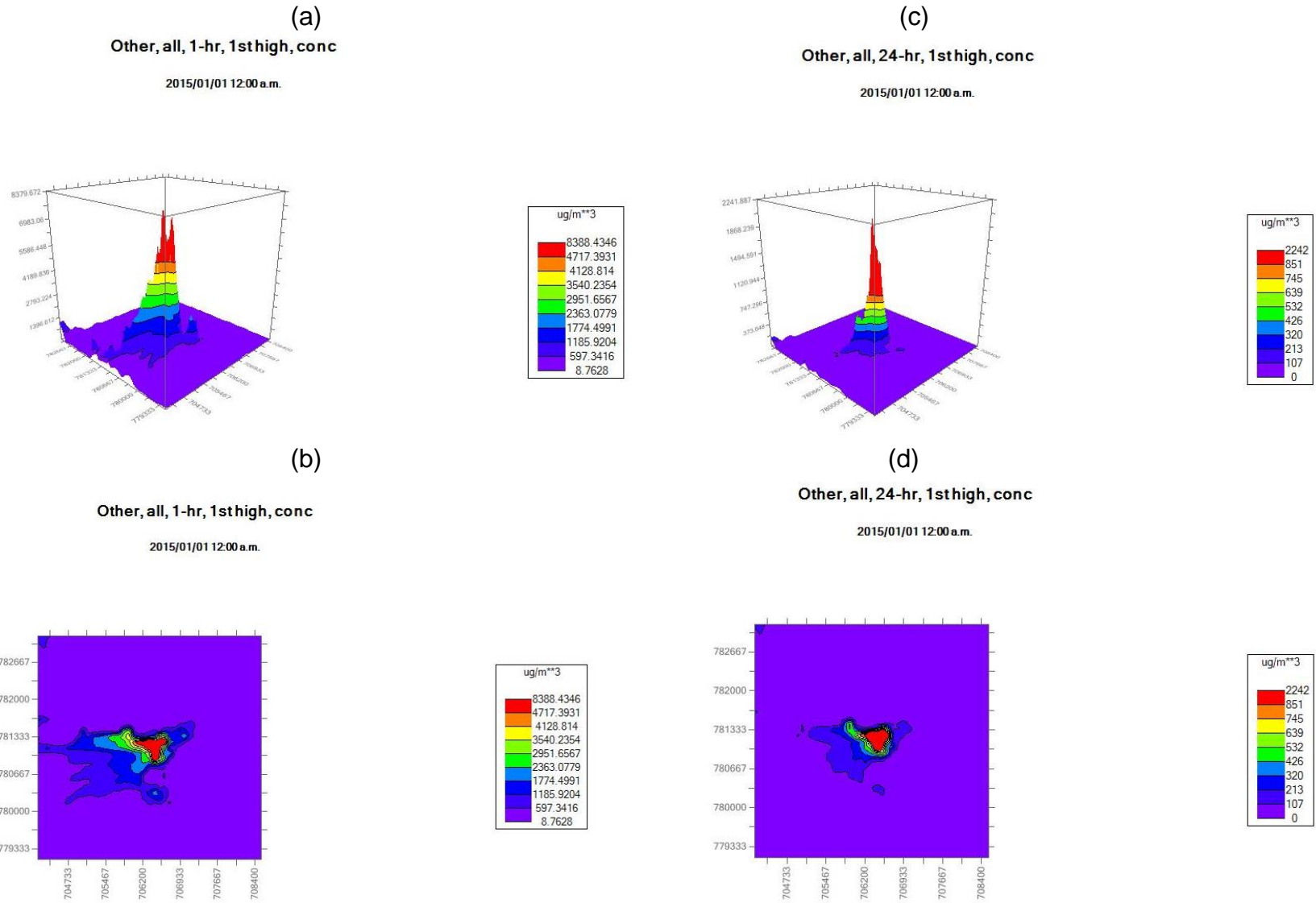
En este caso se evidenciaron valores mucho mayores, en las concentraciones a 1 hora de exposición cuyo valor máximo fue de 16776.8691 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ llegando a un mínimo de 17.5257 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como se puede observar en la Gráfica 4, resultando en este escenario los valores más altos entre las posibilidades evaluadas.

Al igual que en el resultado presentado a 1 hora, en 24 horas de exposición también se detectó un aumento significativo de las concentraciones presentes, arrojando como valor máximo 4485 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un mínimo de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que deja ver que en este escenario hay presencia de contaminante en el ambiente incluso pasado un día completo después de la emisión, lo que puede generar afectación a las poblaciones aledañas de forma constante.

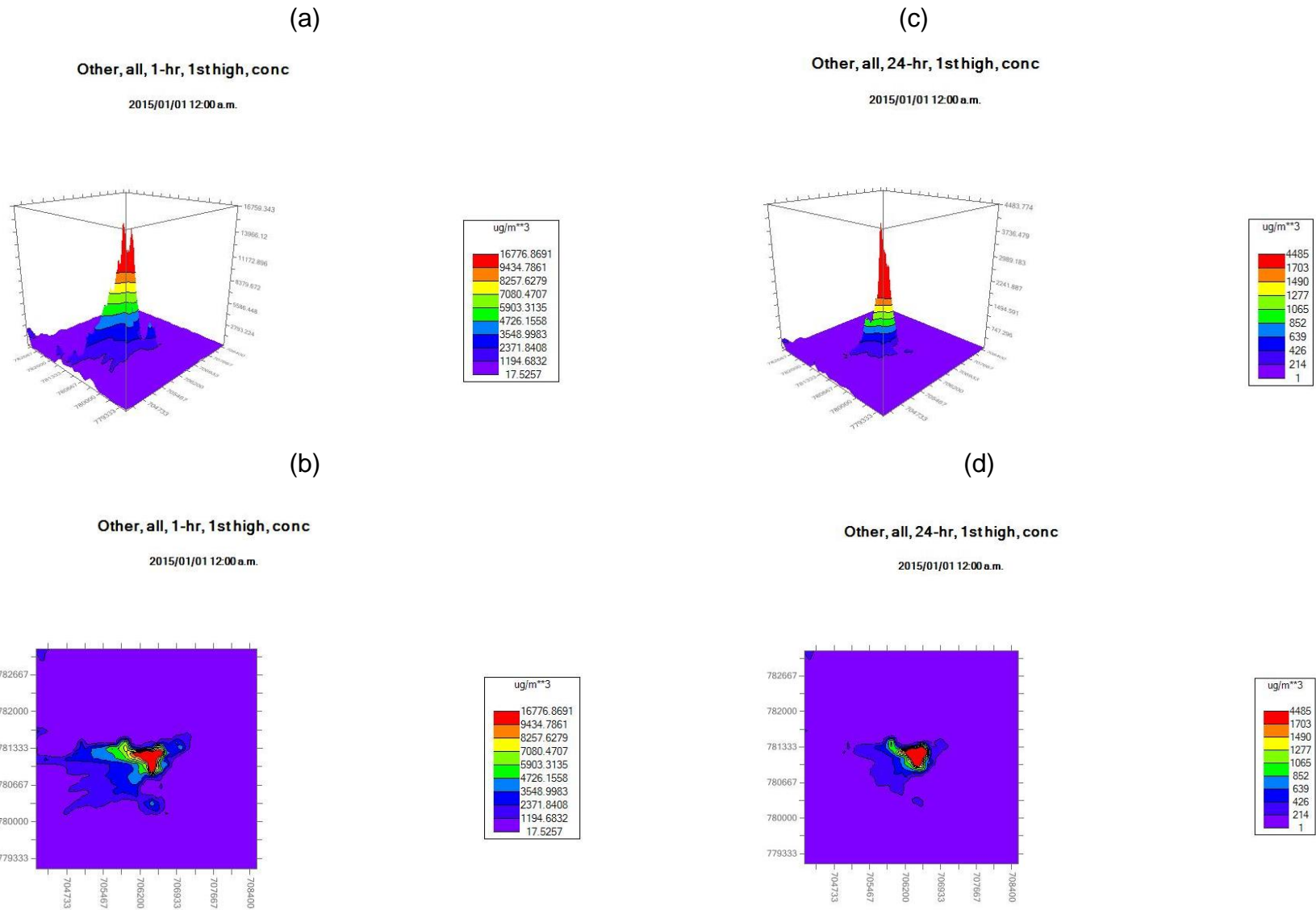
Gráfica 2. (a) 3D- Concentración H₂S a 1 hora. (b) 2D- Concentración H₂S a 1 hora. (c) 3D- Concentración H₂S a 24 horas. (d) 2D- Concentración H₂S a 24 horas - MEJOR ESCENARIO



Gráfica 3. (a) 3D- Concentración H₂S a 1 hora. (b) 2D- Concentración H₂S a 1 hora. (c) 3D- Concentración H₂S a 24 horas. (d) 2D- Concentración H₂S a 24 horas – ESCENARIO MEDIO



Gráfica 4. (a) 3D - Concentración H₂S a 1 hora. (b) 2D- Concentración H₂S a 1 hora. (c) 3D- Concentración H₂S a 24 horas. (d) 2D- Concentración H₂S a 24 horas - PEOR ESCENARIO



De los resultados obtenidos por el modelo en los tres escenarios se puede inferir que en general la dispersión del contaminante no es óptima en las zonas hacia el sur oeste por tanto es allí donde las concentraciones y la percepción del olor es mayor pero esta dispersión puede verse afectada durante el día por diferentes factores, entre ellos los cambios de temperatura.

El descenso de la temperatura ambiente reduce la dispersión debido a que cuando el aire frío se encuentra más cerca del suelo no se puede elevar y no se da el proceso de inversión térmica lo que conlleva a que la concentración de contaminantes se mantenga por más tiempo en la capa de aire más cercana al suelo (UNAD 2010).

La presencia de edificios, estructuras u otros elementos que puedan crear una barrera al viento y otras variables meteorológicas pueden afectar en gran medida el movimiento del contaminante ya que puede generarse un efecto downwash que recircule el aire en una zona específica y no permita la continuidad de la dispersión lo que puede aumentar la concentración y la percepción de dicho contaminante (UNAD 2010).

Otro factor que podría ser determinante sería si el municipio de San Juan de Girón, al cual pertenece la PTAR, realizara modificaciones en su POT (CONSEJO MUNICIPAL 2010), debido a la ampliación del municipio e incluyera nuevas zonas residenciales en sectores aledaños a esta planta. La presencia de nuevos grupos poblacionales y nuevas estructuras en el camino de la dispersión podrían modificar la incidencia de las concentraciones obtenidas en este trabajo.

5.3 Establecimiento de una relación entre los resultados de la modelación y las quejas por olores ofensivos interpuestas por la comunidad.

5.3.1 Análisis de resultados arrojados por el modelo AERMOD

Es de vital importancia que las entidades encargadas del control de olores ofensivos estén de la mano con las nuevas tecnologías como lo es la aplicación de los modelos de dispersión, uno de los principales modelos sugeridos en la Resolución 1541 del 2013 es AERMOD Breeze, debido a que este software está sugerido y avalado por la EPA (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2013). Por esto los resultados arrojados por el modelo en este trabajo fueron comparados con la normatividad para clarificar si la PTAR de Río Fío está incumpliendo o no los parámetros legales en el tema de emisiones de H₂S.

Los rangos presentados por la Resolución 1541 del 2013 para el H₂S se presentan a continuación:

Ilustración 17 Nivel máximo permisible por contaminante

Sustancia	Nivel máximo permisible	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tiempo de exposición*
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	7	24 horas
	30	1 hora
Azufre Total Reducido (TRS)	7	24 horas
	40	1 hora
Amoniaco (NH_3)	91	24 horas
	1400	1 hora

Fuente: Resolución 1541 del 2013

Las gráficas relacionadas en la sección 5.2.1 permiten determinar que la afectación en las zonas de influencia en los tres escenarios en el tiempo de exposición de una hora sobrepasa los límites permisibles de concentración en la mayoría de los casos, incluso con valores que en el mejor escenario pueden doblar dicha cifra ($1677,687 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por otra parte se observó que en este mismo escenario existen zonas que no sobrepasan el límite permisible por la normatividad, con un valor de $1,753 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo este un resultado favorable si se considera este escenario como real para la PTAR de Río Frío ya que las zonas afectadas no sobrepasan el radio de 1 Km delimitado.

Para el caso del tiempo de exposición de 24 horas se determinó que entre los tres escenarios el valor máximo reportado por el modelo también sobrepasa los límites de la normatividad, con valores para mejor escenario de $448,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, escenario medio de $2242 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y peor escenario $4485 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que evidencia que si se está causando afectación por parte de la PTAR a la comunidad cercana. Los datos mínimos no sobrepasan dicho límite con valores que si acatan la norma como son: Mejor escenario $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, escenario medio $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y peor escenario $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando que el viento presente en la zona no está dispersando el contaminante a gran distancia de la fuente de emisión ya que como se evidencia en las Gráfica 2, Gráfica 3 y Gráfica 4 la presencia de H_2S se ve en su mayoría concentrada en una sección inmediata a la fuente y por el contrario en sus alrededores disminuye considerablemente.

No se descarta que las zonas que están a una distancia considerable no evidencien niveles de H_2S , ya que las corrientes de viento pueden variar a medida que pasa el tiempo, reconociendo que Colombia es un país sin estaciones marcadas y que en la actualidad presenta fenómenos como lo son el de El Niño o La Niña, los cuales provocan cambios drásticos en las condiciones climatológicas.

Como resultado de la modelación aplicada se pudo determinar que esta fuente de emisión si causa afectaciones al medio y la comunidad aledaña, debido a la presencia de olores ofensivos de forma constante y ratificado con las cifras que sobrepasan los límites permisibles por la legislación colombiana.

5.3.2 Correlación de los resultados del modelo con la queja interpuesta por la comunidad

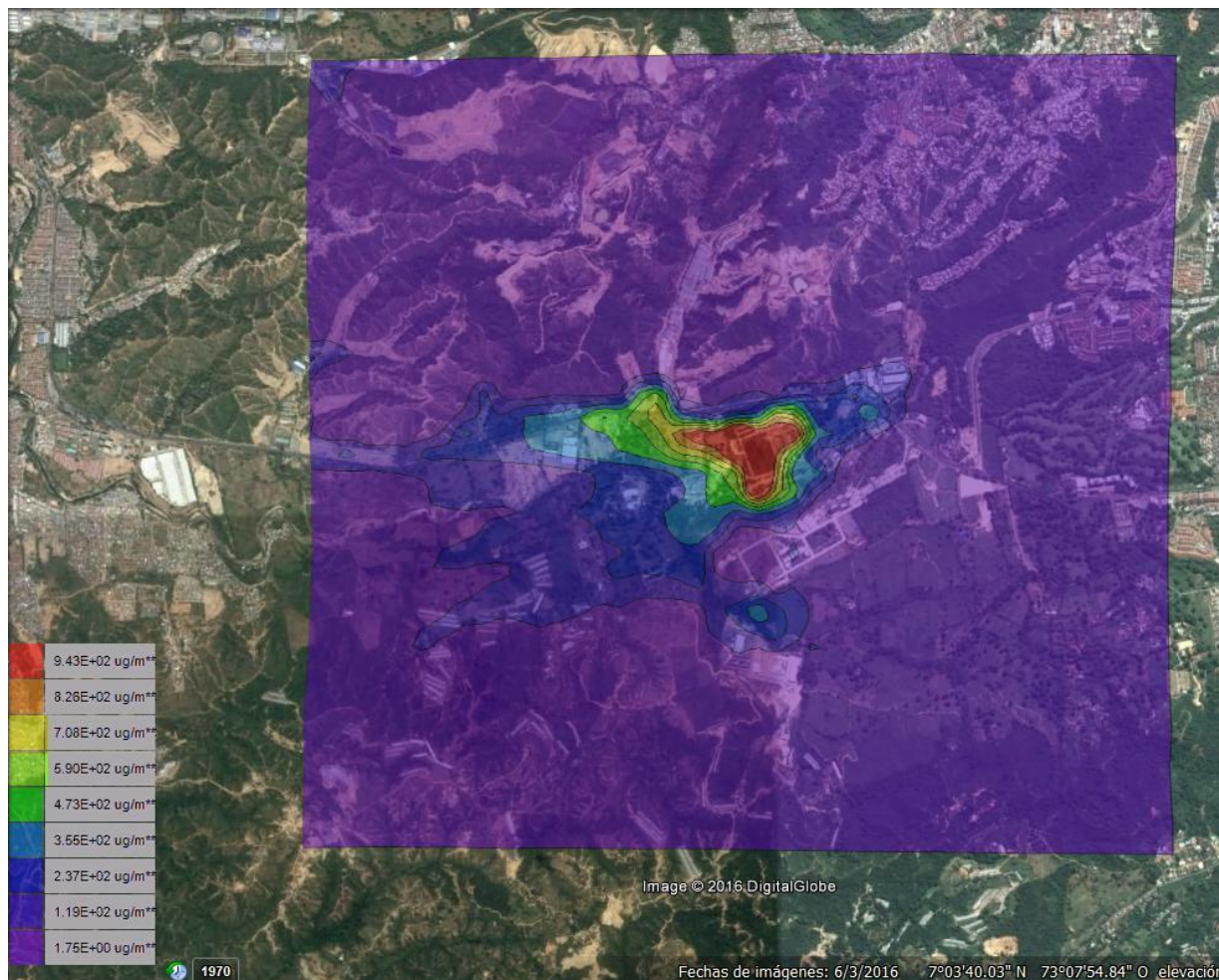
En el proceso de validación de la queja interpuesta a la CDMB se determinó que en el radio de influencia de 1 kilómetro a la PTAR de Río Frío si existe afectación y molestias percibidas por la comunidad que interpuso la queja, dándole validez a la misma, la población de la zona si está presentando molestias que podrían generar perturbaciones a su salud, ya que estos olores ofensivos afectan su diario vivir en el cumplimiento de sus labores o en el tiempo que se encuentran en sus hogares y pueden generar efectos dañinos a largo plazo en su salud (Sánchez 2015).

Al comparar el resultado de la aplicación de la NTC 6012-1 y la modelación se demostró que la PTAR de Río Frío si está causando molestias a la comunidad, incluyendo las empresas Mausoleo la Esperanza, Ayazak, G&J, Compañía Pesquera del mar, Colegio Roberto García Peña, Asfaltar, Montallantas, Almacenista, Parqueadero 24 Horas, Tierra Santa, Nissan Taller, Bolo Club el Deportista, Parque Industrial la Fortuna, NutraFood, Sevicol, Zona Franca, CyrgoSAS, Distraves, Frimac, Parque Industrial Simura, Restaurante el Corcel, que se encuentran en la zona de 1 Km delimitada durante la realización de encuestas por la queja presentada.

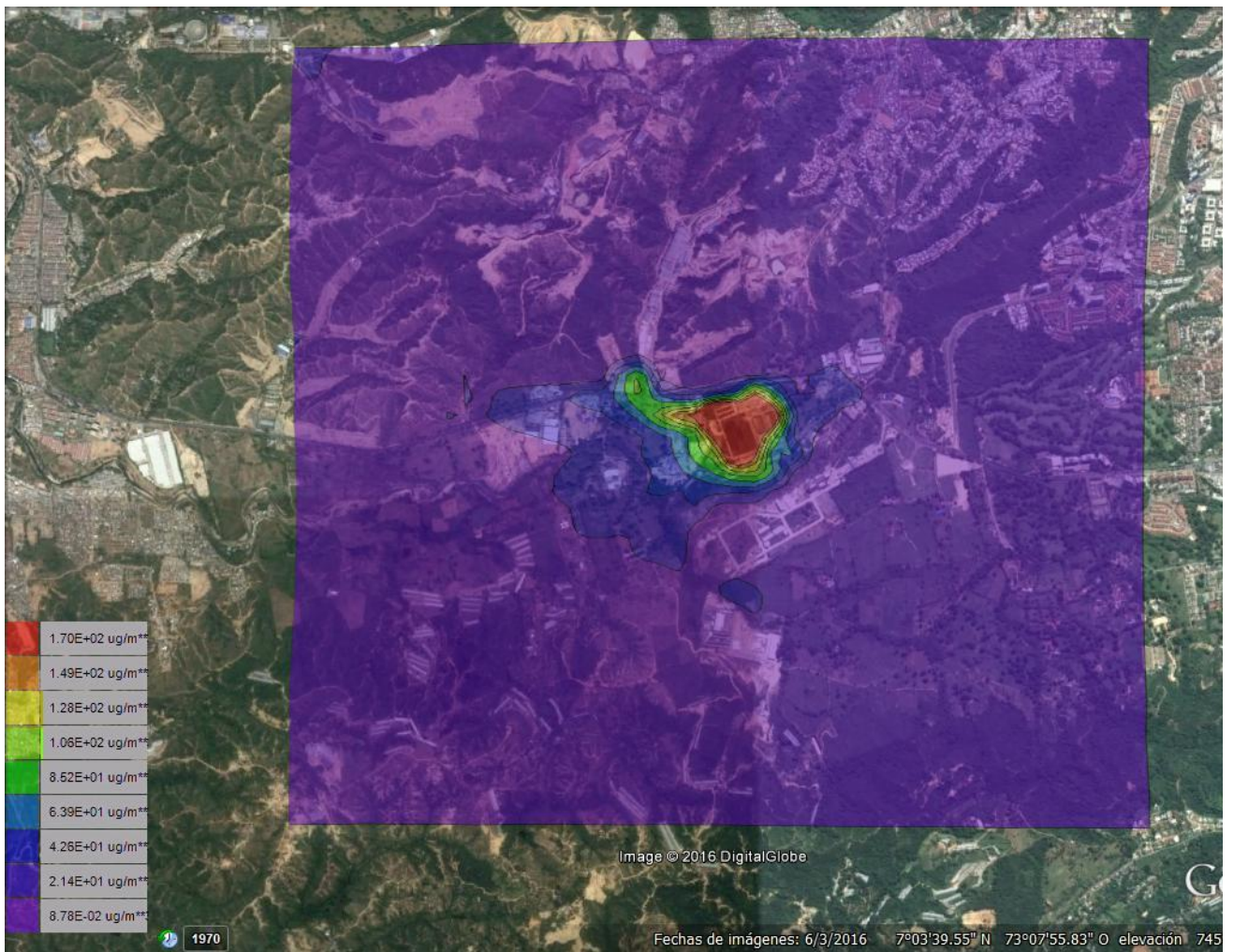
Debido a esto es necesario que las entidades encargadas de la vigilancia y control tomen medidas exigiendo el cumplimiento del PRIO (Plan de Reducción del Impacto por Olores)(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2014) por parte del EMPAS, entidad encargada de administrar esta planta. En general se detectó que las concentraciones de H₂S sobrepasan los niveles permitidos por la norma incluso en el mejor escenario planteado, por lo que es necesario que la empresa encargada tome acciones correctivas para solucionar esta problemática.

Extrapolando la información obtenida con AERMOD Breeze a Google Earth es más sencillo visualizar los resultados del modelo y verificar cuáles son las zonas en donde se percibe mayor concentración del contaminante ya nombradas anteriormente. A continuación, se observan los resultados extrapolados:

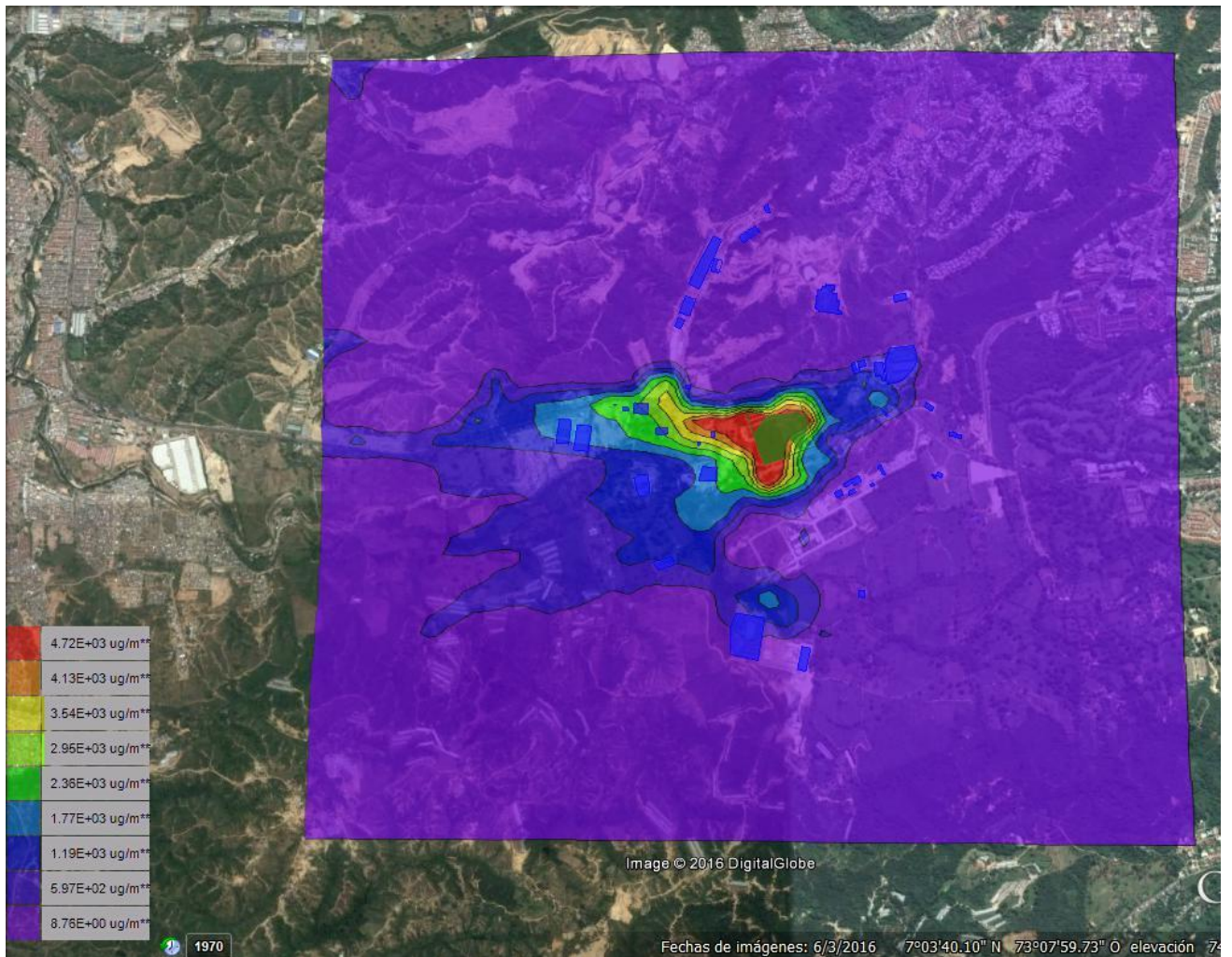
Gráfica 5 Exportación de resultados a Google Earth Mejor escenario-1 hora



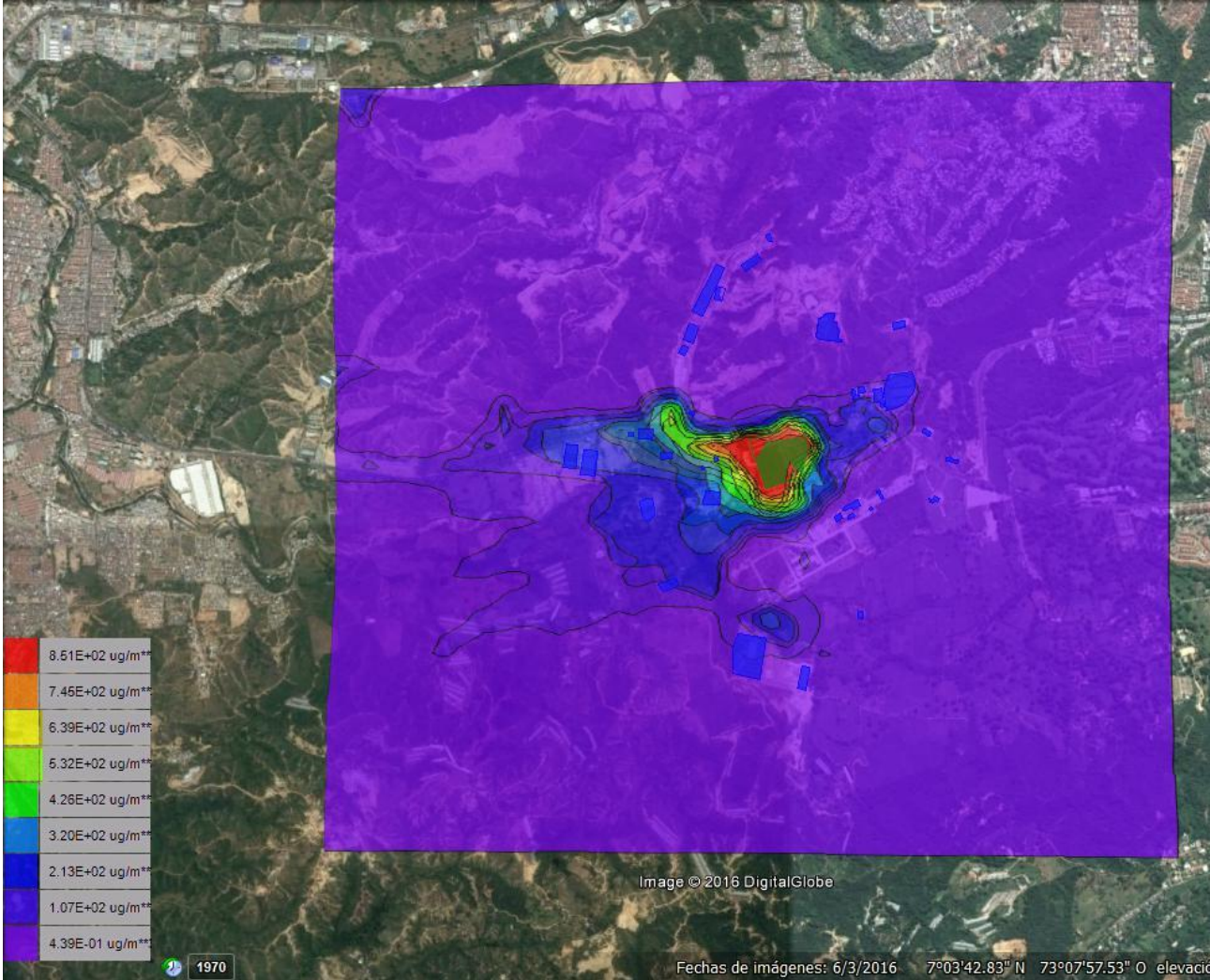
Gráfica 6 Exportación de resultados a Google Earth Mejor escenario-24 horas



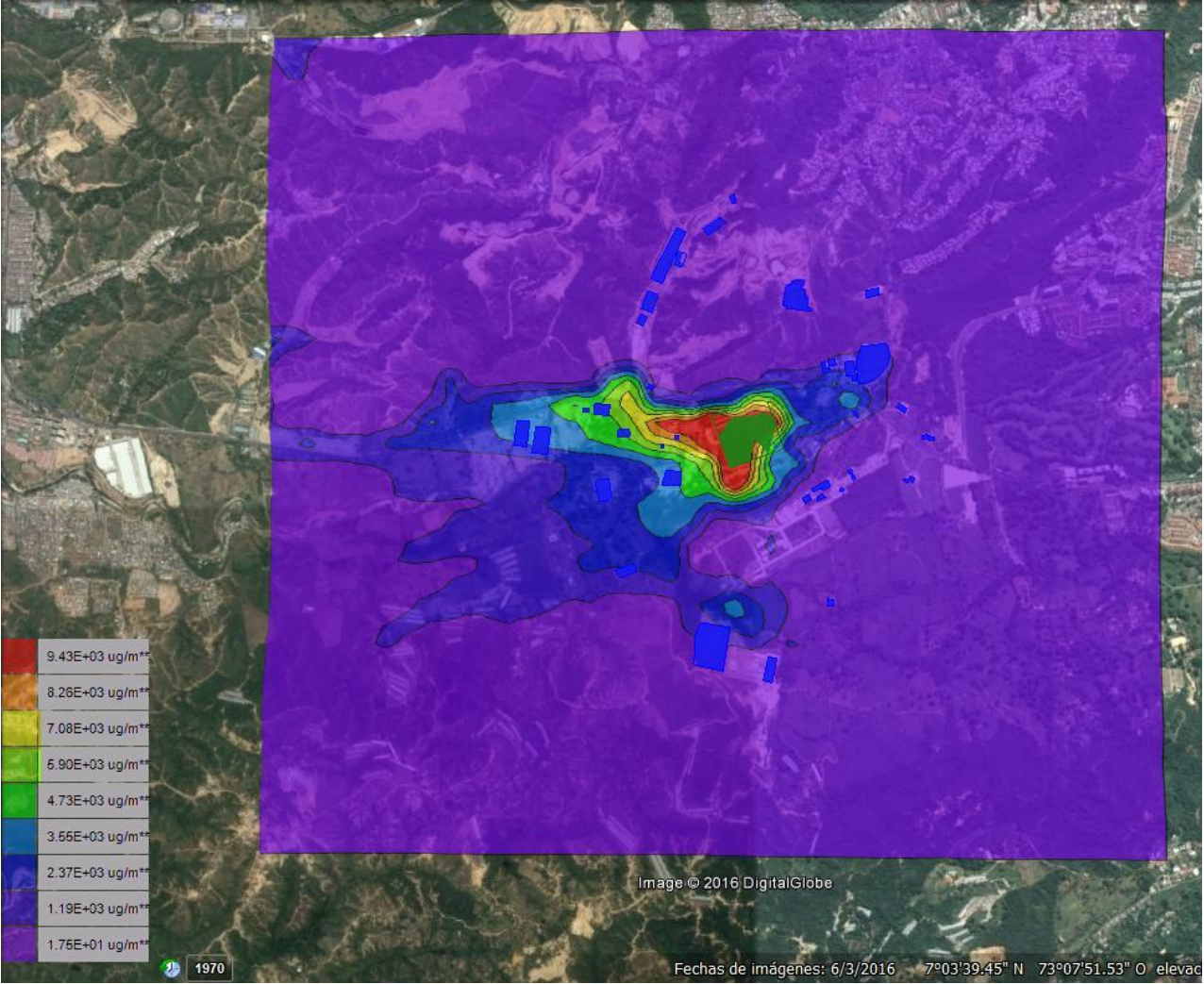
Gráfica 7 Exportación de resultados a Google Earth - Escenario medio 1 hora



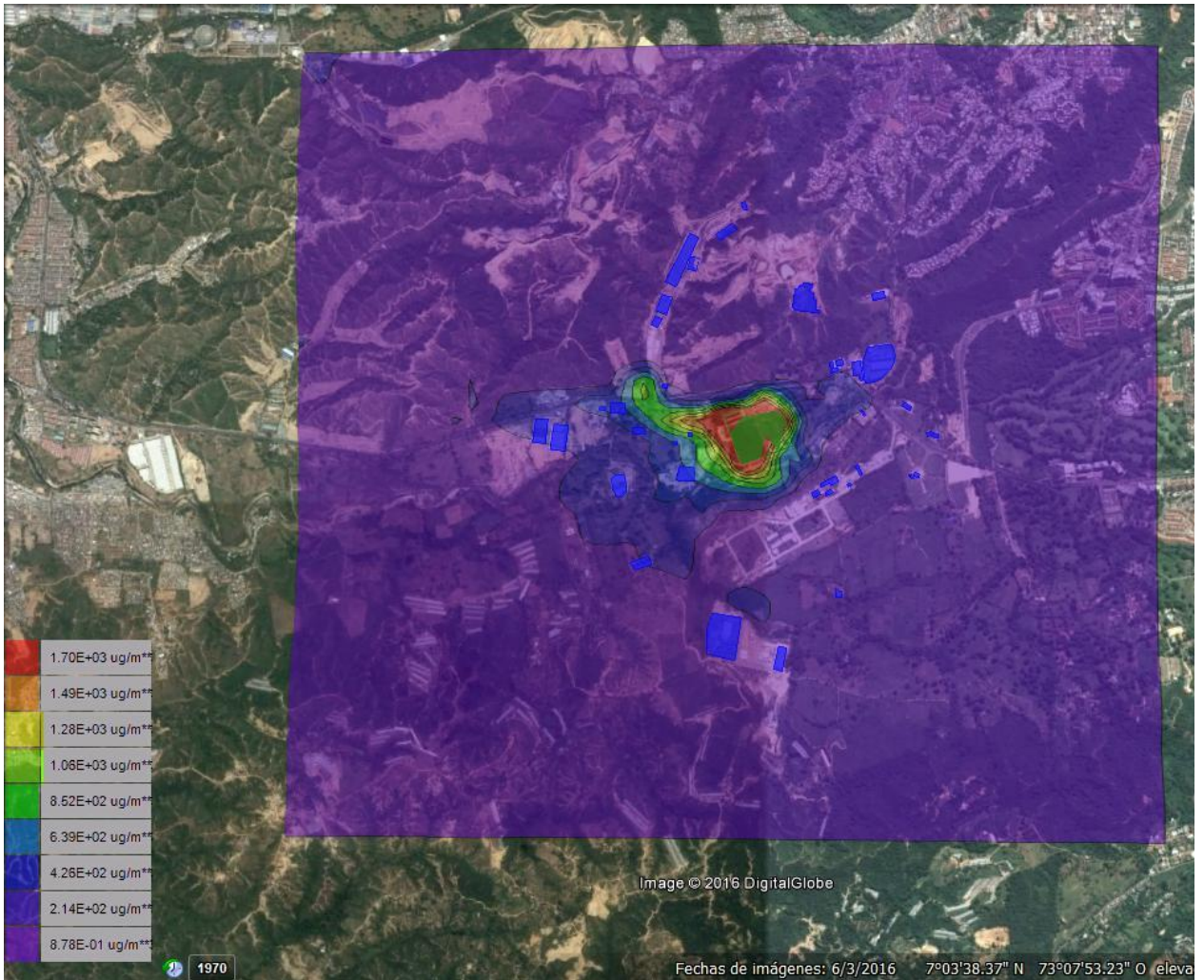
Gráfica 8 Exportación de resultados a Google Earth - Escenario medio 24 horas



Gráfica 9 Exportación de resultados a Google earth Peor escenario-1 hora



Gráfica 10 Exportación de resultados a Google earth Peor escenario-24 horas



6. CONCLUSIONES

Las zonas de mayor afectación son las localizadas en las coordenadas sur-oeste y los alrededores más cercanos como son zona franca, Prevesa, Estrategia Paintball, Organización La Esperanza y Tierra Santa entre otros y en el peor escenario fue en donde se presentaron mayores concentraciones de H₂S ya que presentan valores fluctuantes entre 16776.8691 µg/m³ como valor máximo percibido bajando hasta 17.5257 µg/m³ en el caso de 1 hora desde la emisión, para el tiempo de exposición de 24 horas también se percibieron los máximos valores en este escenario los cuales fueron 4485 µg/m³ como máximo y 1 µg/m³ como mínimo.

La herramienta de verificación arrojó como resultado la constante molestia por parte de la población y entidades que se localizan en el área de estudio, evidenciando la percepción constante de olores ofensivos que causan molestias y perturban las actividades que allí se realizan, este resultado es cualitativo por lo que se hace necesario que las autoridades ambientales utilicen métodos cuantitativos que verifiquen la validez de la aplicación de esta herramienta.

En la correlación de la NTC 6012-1 y la modelación se concluyó que es fundamental contar con las herramientas suficientes para el análisis de la dispersión de un contaminante con el H₂S.

Los resultados arrojados por los tres escenarios demuestran la importancia de conocer la rata de emisión o los factores de emisión reales y la meteorología completa y válida en el momento de aplicar un modelo de dispersión, ya que un pequeño cambio en el valor de estos datos puede modificar el resultado del análisis y ser favorable o no para los directamente implicados en el estudio.

Se identificó según la compilación de los resultados generados por el modelo con el mapa, que las principales zonas de afectación en esta medición son las correspondientes a 1 km alrededor de la fuente, entre ellas las empresas: Mausoleo la Esperanza, Pesquera del mar, Tierra Santa, Distraves, Frimac, entre otras, en donde se detectaron las mayores concentraciones y que infringen la norma, por lo que se considera que este radio es suficiente para los análisis.

Los altos valores de las concentraciones arrojados por el programa Breeze Aermol, presentes en la zona de estudio indican que la PTAR de Río Frío está sobrepasando los valores límites permisibles en los tiempos medidos de una o 24 horas según cada caso.

Es importante recalcar que los resultados mostrados en este trabajo corresponden a promedios durante la totalidad del periodo de análisis (dos años); la meteorología, las construcciones, los cambios en el POT y otros factores a futuro pueden afectar el comportamiento de las emisiones contaminantes.

Para finalizar se concluye que es importante complementar la aplicación de la NTC 6012-1 con un modelo de dispersión de contaminantes adecuado para cada caso específico según el aspecto que se desee evaluar, obteniendo información válida, completa y justificada que permita tomar decisiones que solucionen o mitiguen problemáticas que afecten a la comunidad.

7. RECOMENDACIONES

En el uso del modelo de dispersión AERMOD-ISC, es de gran importancia que el usuario adquiera información confiable al momento de correr el modelo, como por ejemplo en el caso de la meteorología, buscando datos que puedan ser mayores al periodo de un año, esto con el fin de evaluar como mínimo los cambios en todas las épocas del año y dando así más validez a los resultados.

Por otra parte, es importante asegurarse contar con complementos como lo son AERMET, AERMAP Y 3D ANALYST, ya que son las bases que ayudaran a procesar los datos e interpretar los resultados de forma más amigable con el usuario y facilitan el proceso de conversión de grupos de datos, generan de forma rápida los receptores y fuentes de emisión para los datos de entrada, al correr el modelo también son de ayuda ya que ayudan a crear mapas de dispersión que facilitan la interpretación de un contaminante en general.

Es recomendable en estudios futuros analizar los núcleos poblacionales aledaños a la zona de afectación, en este caso Cañaveral, en los cuales por experiencia propia se perciben olores que podrían o no corresponder a emisiones de la PTAR o alguna otra fuente cercana sin identificar.

Siguiendo el lineamiento anterior, se sugiere que el radio de influencia de la o las fuentes a analizar sea mayor a 1 Km y que de este modo incluya zonas cercanas que presenten grandes masas poblacionales o zonas altamente vulnerables como hospitales, colegios, parques recreativos, entre otros.

BIBLIOGRAFIA

- AEC, A.E.P.L.C., 2005. Centro Nacional de Información de la Calidad Contaminación Olorífera. Disponible en: http://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=3527643c-0525-42fd-9943-1c881254e44f&groupId=10128 [Accedido en Junio 19, 2016].
- ALPHA MOS, 2005. Olores y molestias. Disponible en: http://env.alpha-mos.com/es/odeurs_nuisances/definitions.php [Accedido en Febrero 16, 2016].
- ARREGUI, B., 2014. SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ADELCA, MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS. Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39275960> [Accedido en Febrero 21, 2016].
- BREEZE Modeling Software for, 2016. BREEZE Software - Modeling Software for EH&S Professionals. Disponible en: <http://www.breeze-software.com/> [Accedido en Febrero 18, 2016].
- BRENES, J.P.S., 2014. *APLICACIÓN DEL MODELO AERMOD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE CALIDAD DEL AIRE PARA CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS*. Disponible en: [file:///C:/Users/MIPC2/Downloads/Tesis final.pdf](file:///C:/Users/MIPC2/Downloads/Tesis%20final.pdf) [Accedido en Marzo 9, 2016].
- C.J.COLLAZOS & J.M.CALA, 2005. PTAR. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind54/ptar/ptar.html> [Accedido en Febrero 23, 2016].
- CENDALES, A.M.B., 2006. UTILIZACIÓN DEL METANO GENERADO EN UN REACTOR ANAEROBIO COMO FUENTE DE ENERGÍA EN UNA INDUSTRIA DE GASEOSAS. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14834/T41.06B891u.pdf?sequence=1> [Accedido en Febrero 23, 2016].
- CONSEJO MUNICIPAL, M.S.J. de G., 2010. Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de San Juan Girón.
- CURIHUMENTRO, M.C.B., 2010. APLICACIÓN DEL MODELO ISC- AERMOD PARA LA ESTIMACIÓN DE DISPERSIÓN DE OLORES. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS LA FARFANA. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112443/Memoria_MaritzaBarrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accedido en Febrero 24, 2016].
- GARCÍA, L.U., 2013. MODERNIZACIÓN PTAR RÍO FRÍO AVANCE Y DESARROLLO DEL PROYECTO. Disponible en: https://www.apccolombia.gov.co/recursos_user/Eventos/Taller-

- Profundizacion/Dia-1/4.AVANCE-PTAR-2013-Comunidad.pdf [Accedido en Febrero 24, 2016].
- GONZÁLEZ., S.A.M. & VÁZQUEZ, M.M., 2011. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Disponible en: <http://chita.aragon.unam.mx/papime100310/documentos/RAFA.pdf> [Accedido en Febrero 19, 2016].
- GUARDADO CHACÓN, J.A., 2006. Tecnología del biogás.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2014. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO, CONTROL Y VIGILANCIA DE OLORES OFENSIVOS. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/Protocolo_para_el_Monitoreo_Control_y_Vigilancia_de_Olores_Ofensiv.pdf [Accedido en Febrero 19, 2016].
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2013. Resolución 1541 del 2013. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/resoluciones/2013/res_1541_2013.pdf [Accedido en Febrero 21, 2016].
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, 2012. LINEAMIENTO PARA LA VIGILANCIA SANITARIA Y AMBIENTAL DEL IMPACTO DE LOS OLORES OFENSIVOS EN LA SALUD Y CALIDAD DE VIDA DE LAS COMUNIDADES EXPUESTAS EN AREAS URBANAS. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/impacto-olores-ofensivos-salud.pdf> [Accedido en Febrero 19, 2016].
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 1995. DECRETO 948 DE 1995. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf [Accedido en Febrero 18, 2016].
- MUDRAGADDAM, M., 2010. Carbon Dioxide and Hydrogen Sulfide Emission Factors Applicable to Wastewater Wet Wells. Disponible en: <http://scholarworks.uno.edu/td> [Accedido en Julio 21, 2016].
- OSORIO, S.J.B. & ARBOLEDA, L.H., 2012. ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN COLOMBIANA EN MATERIA DE OLORES OFENSIVOS. Disponible en: [http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1154/An%C3%A1lisis de la regulaci%C3%B3n colombiana en materia de olores ofensivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1154/An%C3%A1lisis%20de%20la%20regulaci%C3%B3n%20colombiana%20en%20materia%20de%20olores%20ofensivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Accedido en Febrero 23, 2016].
- PATRI, M.P.M., 2014. OLORES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS. *REVISTA AIDIS*. Disponible en: http://www.aidis.cl/files/revista-mayo/Articulo_Mayo_2014_Maria_Pia_Mena.pdf [Accedido en Febrero 24, 2016].
- SÁNCHEZ, L.E.S., 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. Disponible en:

http://bibliodigital.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6044/modelacion_olores_odorantes_modelo_penacho_gaussiano.pdf?sequence=1&isAllowed=y
[Accedido en Febrero 24, 2016].

UNAD, 2010. Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Disponible en:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacion/leccin_21_modelos_de_dispersin_de_contaminantes_atmosfricos.html
[Accedido en Febrero 21, 2016].

VISSCHER, A. De, 2014. *Air Dispersion Modeling*,

ANEXOS

ANEXO 1

METEO COLOMBIA

REPORTE DE DATOS 00405R "Procesamiento de datos en AERMET"

Empresa: Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga
Contacto: Kento Taro Magara Gomez
Dirección: Km. 7 Autopista a Piedecuesta, Oficina K-406. Bucaramanga
Teléfono: (577) 6796220
Celular:
Fecha: 29 de julio de 2016

Apreciado Cliente:

Por medio del presente reporte, certifico la calidad de los datos, en cuanto al funcionamiento en el procesador AERMET. Los datos entregados adjuntos fueron procesados en las tres etapas de AERMET v 15181, el cual fue publicado el 30 de Junio de 2015 en la página oficial de la US-EPA. Los archivos entregados son:

Punto 1: Floridablanca.pfl y Floridablanca.sfc, generados a partir de los archivos UPB_Floridablanca.ua y UPB_Floridablanca.sam respectivamente

La siguiente fue la configuración empleada en AERMET:

PUNTO 1

Etapa 1: Extracción:

Upper Air:

Intervalo de tiempo (yy/mm/dd):	01/01/14 a 31/12/15
Ubicación de la estación (Grados decimales):	73.13W 7.06N
Ajuste de tiempo a hora local (ajuste positivo en coord. Oeste):	5

Surface:

Intervalo de tiempo (yy/mm/dd):	01/01/14 a 31/12/15
Ubicación de la estación (Grados decimales):	73.13W 7.06N
Ajuste de tiempo a hora local (ajuste positivo en coord. Oeste):	0

Etapa 2: Compilación:

Carrera 19 No. 59-25, Bogotá D.C.
Tel (571)-2113470
servicios@meteocolombia.com.co
www.meteocolombia.com.co

Merge:

Intervalo de tiempo (yy/mm/dd): 01/01/14 a 31/12/15

Etapa 3: Preparación de datos para AERMOD:

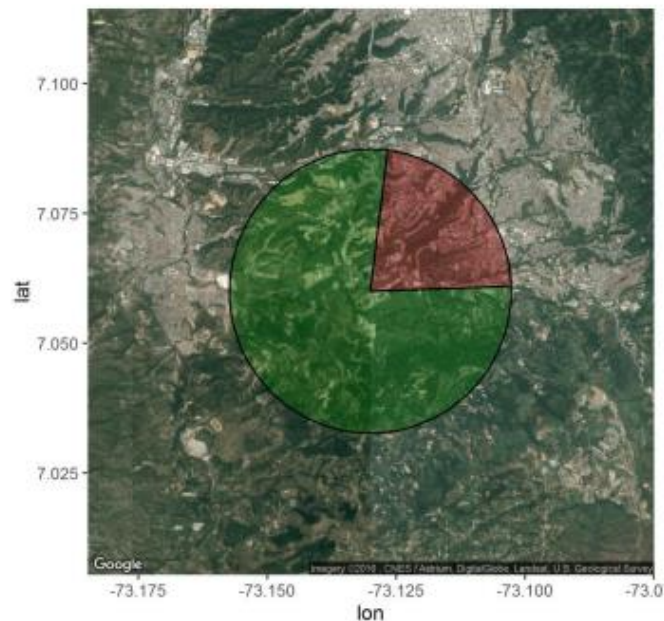
Sectores:

Número de Sectores: 2
Periodo de Sectores: Mensual

Sectores según uso de suelo 3 km a la redonda de datos de superficie:

Sector 1: 7° a 88°; Uso de suelo predominantemente Residencial de baja densidad.

Sector 2: 88° a 7°; Uso de suelo predominantemente Pastizales/suelos herbáceos.

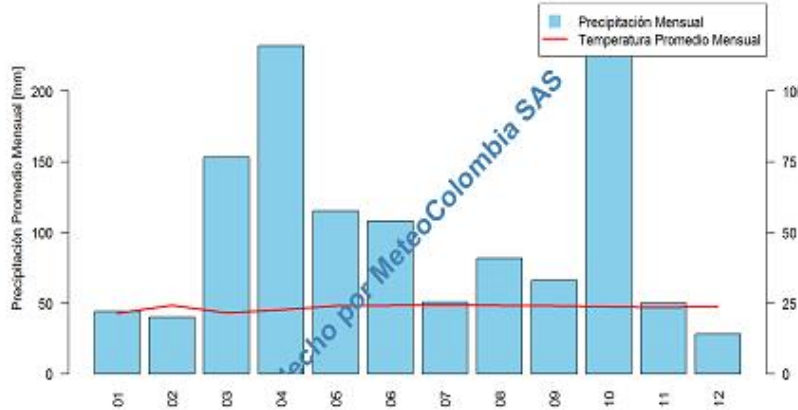


Para la caracterización del Albedo, Bowen y Rugosidad, se realizó el Climograma de Gausson para determinar si el mes corresponde a un mes seco o a un mes húmedo. El

Carrera 19 No. 59-25, Bogotá D.C.
Tel (571)-2113470
servicios@meteocolombia.com.co
www.meteocolombia.com.co

climograma relaciona la precipitación mensual y la temperatura promedio mensual, donde si la precipitación es menor a dos veces la temperatura, se considera un mes seco.

Climograma de Gausson



Dada la variación mensual, los coeficientes de Albedo, Bowen y Rugosidad para los sectores establecidos variaron por mes, por lo cual se configuró AERMET con coeficientes mensuales reportados en el manual de AERSURFACE de la US-EPA.¹

Sector	Mes	Albedo	Bowen	Rugosidad (m)
Sector 1	1	0.16	0.8	0.4
	2	0.16	0.8	0.4
	3	0.16	0.8	0.4
	4	0.16	0.8	0.4
	5	0.16	0.8	0.4
	6	0.16	0.8	0.4
	7	0.16	0.8	0.4
	8	0.16	0.8	0.4
	9	0.16	0.8	0.4

¹Manual disponible en:
http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aersurface_userguide.pdf.
 Carrera 19 No. 59-25, Bogotá D.C.
 Tel (571)-2113470
servicios@meteocolombia.com.co
www.meteocolombia.com.co

Sector	Mes	Albedo	Bowen	Rugosidad (m)
	10	0.16	0.8	0.4
	11	0.16	0.8	0.4
	12	0.16	0.8	0.4
Sector 2	1	0.18	0.4	0.05
	2	0.18	0.8	0.1
	3	0.18	0.4	0.05
	4	0.18	0.4	0.05
	5	0.18	0.4	0.05
	6	0.18	0.4	0.05
	7	0.18	0.4	0.05
	8	0.18	0.4	0.05
	9	0.18	0.4	0.05
	10	0.18	0.4	0.05
	11	0.18	0.4	0.05
	12	0.18	0.8	0.1



I.Q. Edison Yesid Ortiz Durán

Asesor de servicios

MeteoColombia S.A.S.

Celular: 319 381 9544, 311 518 9334

Carrera 19 No. 59-25, Bogotá D.C.

Tel (571)-2113470

servicios@meteocolombia.com.co

www.meteocolombia.com.co