

ESTIMACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE METANO, EN ZONAS DE INFLUENCIA
AL RELLENO SANITARIO PALANGANA DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA
MEDIANTE EL USO DEL MODELO ISCST3

JOSÉ JOAQUÍN ESPINOSA OTERO
LEONELA PATRICIA TORRADO GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director
DIANA RIATIGA
Ingeniera Ambiental y Sanitaria.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA D.T.C.H.

2009

ESTIMACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE METANO EN ZONAS DE INFLUENCIA
AL RELLENO SANITARIO PALANGANA DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA
MEDIANTE EL USO DEL MODELO ISCST3



JOSÉ JOAQUÍN ESPINOSA OTERO
LEONELA PATRICIA TORRADO GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA D.T.C.H.

2009

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del jurado.

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santa Marta (17,07,2009),

A Dios,

A mi Madre por su esfuerzo y dedicación en brindarme una carrera profesional.

A mi Padre que siempre ha estado orgulloso de mí y me ha apoyado cuando lo he necesitado.

A mi Abuela Edith Alfaro y mi Madrina Miriam Morelli que me dieron su apoyo siempre en este proceso.

A Luis Miguel Arias por ser mi soporte en todo el recorrido de mi formación profesional.

A mis hermanos que han sido mi respaldo, sobrinos y familiares en especial a mi tía Betty que la considero como mi segunda Madre.

A mis amigos de la Universidad en especial a mi compañero José Espinosa que me ha acompañado en mis triunfos y dificultades a lo largo de esta carrera.

Y a mi Abuelo Miguelillo que siempre quiso lo mejor para mí.

Leonela Patricia Torrado González

A Dios,

A mis padres y mi abuelo por el apoyo que me brindaron para realizar mis estudios de formación profesional,

A mis tías que fueron norte para la culminación de esta meta y un apoyo incondicional,

A mis hermanos y sus respectivas familias.

Al Sr. Alfonso Delgado Campo, por brindarme todo el apoyo necesario para la culminación de este trabajo y los diferentes percances de formación académica.

A mi amiga y compañera de tesis Leonela Torrado, que fue el complemento investigativo indispensable para la consecución de los objetivos de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de la universidad en especial, Diana Luna y Eliana Vergara por el aporte que me dieron de sus conocimientos al desarrollo de este trabajo.

José Joaquín Espinosa Otero.

AGRADECIMIENTOS

Ing. Diana Riatiga, directora de tesis.

Ph. Francisco García Rentería, por su asesoría en el desarrollo de la Tesis.

Ing. Yiniva Carmargo Gestora del convenio INTERASEO SA y UNIMAGDALENA.

Empresa de servicio público, INTERASEO SA

Ing. Alvaro Castillo Director del Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Corporación Autónoma Regional del Magdalena CORPAMAG y Expertos que participaron brindándonos su colaboración y opinión oportuna.

IAS
00033
E.2



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. MARCO TEORICO	23
2.1 RELLENO SANITARIO	23
2.2 GENERACIÓN, COMPORTAMIENTO Y ESTUDIOS DE LOS GASES ATMOSFÉRICOS ORIGINADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS	25
2.3 DISPERSIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES CONTAMINANTES	28
2.4 CONDICIONES DE SEGURIDAD	34
3. ÁREA DE ESTUDIO	36
3.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	36
3.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	37
3.2.1 Temperatura.....	38
3.2.2 Velocidad Del Viento	40
3.2.3 Frecuencia De Los Vientos	41
3.2.1 Rosa De Vientos	42
4. METODOLOGÍA	44
4.1 CONOCER EL CAUDAL DE BIOGÁS GENERADO	44
4.2 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS.....	47
4.3 SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE METANO GENERADO POR LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RSP	49
4.3.1 Valoración Concentración de Metano en los Puntos Receptores.....	49
4.3.2 Requerimientos Del Software ISCST3 Y Opciones De Modelación .	53
4.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO ISCST3	59

4.4.1	Medición De Valor De Concentración De Metano En Un Punto Receptor.....	60
4.4.2	Periodo de Observación.....	62
4.5	DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS QUE SE VEN INFLUENCIADAS DIRECTA E INDIRECTAMENTE POR LAS EMISIONES DE METANO A LA ATMÓSFERA.....	62
4.6	VERIFICACIÓN LÍMITES DE SEGURIDAD DE METANO EN EL AIRE.....	63
4.6.1	Cálculo del Límite de Concentración de Metano en el Aire.....	64
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
5.1	CAUDAL DEL BIOGÁS.....	65
5.2	COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS GENERADO.....	68
5.3	ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METANO EN EL AIRE ...	75
5.3.1	Calculo de la Tasa de Emisión de Metano (CH ₄).....	75
5.3.2	Velocidad de Salida Del CH ₄	76
5.4	SIMULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CH ₄ EN LOS PUNTOS RECEPTORES.....	77
5.5	CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	81
5.6	DETERMINACIÓN DE ÁREAS QUE SE VEN INFLUENCIADAS POR LA EMISIÓN DE METANO.....	85
5.6.1	Influencia Directa.....	90
5.6.2	Influencia Indirecta.....	91
5.7	VERIFICACIÓN DEL CRITERIO DE SEGURIDAD.....	91
6.	CONCLUSIONES.....	92
7.	RECOMENDACIONES.....	95
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	96
	ANEXOS.....	102



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estación seleccionada para la información meteorológica	37
Tabla 2. Valores promedios de parámetros meteorológicos.....	38
Tabla 3. Valores promedios de temperatura en Santa Marta	39
Tabla 4. Valores promedio de velocidad del viento en Santa Marta durante el año 2008.....	40
Tabla 5. Valores promedios de velocidades del viento por horas del día	40
Tabla 6. Valores de frecuencia de Dirección del viento (%) en Santa Marta durante el periodo de estudio	42
Tabla 7. Número de chimeneas por nivel y puntos de muestreo.....	47
Tabla 8. Estabilidad atmosférica basada en la velocidad del viento y radiación global.....	53
Tabla 9. Numero de datos analizados en cada una de las direcciones del viento. 63	
Tabla 10. Media y varianza de los resultados mensuales obtenidos de la medición del biogás (m ³ /min).....	65
Tabla 11. Biogás generados por la disposición final en Rellenos Sanitarios de Colombia.....	67
Tabla 12. Análisis de composición del Biogás	68
Tabla 13. Resultados de las concentraciones de CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , y H ₂ S tomadas en campo.....	71
Tabla 14. Tabla ANOVA para los resultados obtenido de la concentración de los gases	72
Tabla 15. Emisión promedio de CH ₄ por chimenea en cada nivel	75
Tabla 16. Velocidad de salida promedio de CH ₄ en cada nivel.....	76
Tabla 17. Concentración promedio de CH ₄ del periodo de estudio arrojadas por el modelo ISCST3 en los puntos receptores	78
Tabla 18. Valores promedios horarios de concentración de CH ₄	81

Tabla 19. Concentración promedio de CH ₄ del periodo de muestreo arrojadas por el modelo ISCST3 en los puntos receptores.....	82
Tabla 20. valores máximos y promedios de velocidad del viento teniendo en cuenta la dirección.....	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación de la pluma Gausiana.....	31
Figura 2. Mapa Santa Marta y Relleno Sanitario Palangana (Área de estudio).....	36
Figura 3. Variación máximos, promedios y mínimos temperatura en el año 2008.	39
Figura 4. Perfil diario de la velocidad del viento.....	41
Figura 5. Direcciones predominante de los vientos en Santa Marta	43
Figura 6. Anemometro utilizado por la empresa INSPECTORATE para medir el caudal de las chimeneas	45
Figura 7. División de niveles dentro del Relleno Sanitario Palangana.....	46
Figura 8. Analizador de gases Impact-Pro, utilizado para analizar la concentración de los gases estudiados	48
Figura 9. Medición de alturas y diámetros de chimeneas en campo	51
Figura 10. Cuadrícula de Receptores para el modelo ISCST3	59
Figura 11. Punto de muestreo en la Urbanización Altos de Bahía Concha	60
Figura 12. Explosímetro EX 2000 ó MX 2000 utilizado	61
Figura 13. Mediciones de campo con el Explosímetro EX 2000.....	62
Figura 14. Caudal promedio de biogás (m ³ /min) durante el tiempo de muestreo ..	66
Figura 15. Varianza Vs valor promedio de caudal de Biogás (m ³ /min).....	66
Figura 16. Concentración promedio de CH ₄ por niveles	69
Figura 17. Concentración promedio de CO ₂ por niveles.....	69
Figura 18. Concentración promedio de O ₂ por niveles	70
Figura 19. Concentración promedio de H ₂ S por niveles	70
Figura 20. Perfil de emisión promedio de CH ₄ en cada nivel.....	76
Figura 21. Perfil de velocidad salida de CH ₄ promedio.....	77
Figura 22. Isopletas de concentración de CH ₄ por fuente puntual agrupada correspondiente al Relleno Sanitario de Palangana durante el periodo de estudio	79

Figura 23. Resultados de dispersión de Metano Obtenido en el Relleno Sanitario de Santa Marta de Chile.	80
Figura 24. Dispersión de CH ₄ teniendo en cuenta la dirección del viento.....	88
Figura 25. Isopletas de concentración de CH ₄ determinadas teniendo en cuenta las dirección de viento Suroeste (SW).....	89
Figura 26. Isopletas de concentración de CH ₄ determinadas teniendo en cuenta las direcciones y velocidades máximas de los vientos	90

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS A.....	102
ANEXOS B.....	115
ANEXOS C.....	118
ANEXOS D.....	120



GLOSARIO

ALTURA DE MEZCLA: nivel en el cual el viento y la turbulencia dejan de ser afectados por las condiciones de la superficie.

ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA: estado de equilibrio hidrostático de la atmosfera en la cual una porción de aire desplazado de su nivel inicial experimenta una fuerza hidrostática que tiende a restaurarla a su nivel. Si la porción desplazada no experimenta ninguna fuerza hidrostática, se dice que la condición es de estabilidad neutra. Si experimenta una fuerza hidrostática que tiende a llevarla mas arriba de su nivel original, la condición es de inestabilidad estática (o hidrostática).

EFEECTO INVERNADERO: fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar.

FUENTES DE ÁREA: Red de pequeñas áreas, con emisiones de contaminantes distribuidas uniformemente en una rejilla cuadrada.

ISOPLETAS: Líneas de igual concentración.

MODELACIÓN: herramientas predictiva que permite unificar cuales fuentes tienen un impacto importante en la calidad del aire y donde ocurre el impacto.

MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: Conjunto de ecuaciones matemáticas que relaciona liberación de contaminantes y las concentraciones correspondientes de manera que a partir de los datos meteorológicos específicos y de la fuente de emisión, se obtengan estimaciones de los niveles de calidad del aire, que permitan predecir el impacto que causan las distintas fuentes de emisión sobre los receptores.

PROTOCOLO DE KIOTO: Convenio internacional que intenta limitar globalmente las emisiones de gases de efecto invernadero. El protocolo surge de la preocupación internacional por el calentamiento global que podrían incrementar las emisiones descontroladas de estos gases.

ROSAS DE VIENTO: Representación de la tendencia de la dirección de origen del viento, en donde se le asigna una probabilidad a la dirección y velocidad del viento mediante un análisis de frecuencia en ocho (8) y dieciséis (16) direcciones del compas. Para estudios de dispersión debe incluir las frecuencias de las estabilidades atmosféricas.

RECEPTOR: Sitios de interés por sus efectos en el desarrollo de la calidad del aire.



RESUMEN

En el Relleno Sanitario Palangana (RSP) de la ciudad de Santa Marta se carece de estudios que determinen la dispersión de Metano (CH_4) emitido por la disposición final de residuos sólidos hacia las zonas de influencia directa e indirecta del relleno. Este tipo de estudio es importante para la toma de decisiones a futuro por parte de la empresa prestadora de servicio de recolección y disposición final de los residuos sólidos en relación al plan de Manejo Ambiental. Con el fin de determinar las zonas de influencia al RSP por la dispersión de CH_4 en un periodo de estudio comprendido entre los meses Abril, Mayo y Junio, se implementó una metodología que plantea la utilización del modelo Industrial Source Complex Short Term 3 (ISCST3) de la Agencia Americana de Protección Ambiental, US EPA. Usando la modalidad de cálculo para fuentes puntuales agrupadas.

En esta investigación se determinó cuáles eran las zonas de influencia que se encuentran más afectadas por la dispersión de CH_4 , en donde como zona de influencia directa se encuentra el área propia de las labores de operación del RSP. Se observó que en el periodo modelado la dispersión del CH_4 en las zonas de influencia tienen un comportamiento semejante, influenciado por la orografía de la zona, formándose un corredor de emisión que conduce pequeñas concentraciones de CH_4 directamente hacia la población aledaña al relleno, catalogando esta zona como indirecta, al igual que las demás área de estudio. Los resultados obtenidos podrán ser un instrumento que permita la implementación de metodologías y tecnologías para el adecuado manejo del CH_4 generado por el Relleno Sanitario y el inicio a otras investigaciones entorno a la salud ocupacional y pública.

Palabras clave: Dispersión, Relleno Sanitario, Modelación, Metano

ABSTRACT

In Santa Marta's sanitary landfill, Palangana, no studies have been conducted to determine the concentration of Methane (CH_4) emitted by the final disposal of solid waste in direct and indirect influenced areas. This type of study is important for making future decisions by the operators of collection and disposal of solid waste in relation to the environmental management plan. In order to identify areas of influence in the RSP by the scattering of CH_4 in a study period between the months April, May and June, it was implemented a methodology that use the Industrial Source Complex Short Term 3 model (ISCST3) from the American Environmental Protection Agency, U.S. EPA. Using the calculation method of grouped point sources.

This research will identify areas of influence that is most affected by the scattering of CH_4 , where the direct influence zone is the operation area of the RSP. It was noted that during the dispersion modeling period of CH_4 in the areas of influence have a similar behavior, influenced by the topography of the area, forming a emission corridor that leads small concentrations of CH_4 directly to the population surrounding the landfill, cataloging this zone as indirect, as the other areas of study. The results may be an instrument for the implementation of methodologies and technologies for the proper handling of CH_4 generated by the landfill and initiation of further inquiries to the environment and occupational health service.

Keywords: Dispersion, Sanitary Landfill, Modeling, Methane

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental generado al darle disposición final a los residuos sólidos, provenientes de múltiples actividades en nuestras comunidades ha sido reconocido ampliamente. Debido a esto, los gobiernos han venido implementando estrategias de gestión que apuntan más hacia la reducción y minimización de la producción de estos residuos, no llegando a abarcar todos los impactos que se generan en la disposición final de los mismos. Dentro de las estrategias encontramos en Colombia la política ambiental para la gestión integral de los residuos sólidos que se orienta más hacia la implementación de mecanismos que van desde el reciclaje y la reutilización, así como la mejora de los sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de residuos, dejando de lado el impacto que esto puede conllevar y como manejarlo.

Actualmente la principal alternativa para la disposición segura de los residuos sólidos son los rellenos sanitarios. Estos, son usualmente conceptualizados como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas, y gases y lixiviados como principales salidas. Los gases de un relleno sanitario también son conocidos como biogás, y es el resultado de la descomposición biológica anaeróbica de la materia orgánica dispuesta en el mismo. Los principales constituyentes presentes en el biogás de un relleno sanitario son el metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), pero también contiene vapor de agua saturado y presencia de cantidades pequeñas de componentes orgánicos no metanos y otras trazas de varios componentes (Machado et al., 2009; García y Agudelo, 2005).

Las emisiones de CH_4 se constituyen como uno de los riesgos ambientales más importantes en los rellenos sanitarios, para contrarrestar esta situación, se han diseñado diversas medidas de control para el biogás, como la quema de éste y los sistemas sofisticados de recuperación, que previenen su escape incontrolado a la

atmósfera y al área circundante de los rellenos sanitarios. Cuando el gas no es controlado y es emitido a la atmósfera se puede considerar una problemática ambiental a nivel de una comunidad e incluso mundial.

Dentro de las características del CH_4 encontramos que tiene la capacidad de absorber calor en la atmósfera, por ende se considera gran contribuyente para el calentamiento global, perteneciendo de esta manera a los gases de efecto invernadero. Se cree que el CH_4 emitido por un relleno sanitario no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero su presencia en un área determinada puede ser un indicador de la existencia de otros gases resultantes de la descomposición de los residuos sólidos que si afectan la salud humana y pueden ser cancerígenos, de esta forma las diferentes concentraciones de CH_4 permiten determinar las zonas de influencias que pueden ser más vulnerables a la presencia de estas sustancias químicas tóxicas volátiles peligrosas que representan una amenaza significativa a la salud pública.

Son muy pocas las investigaciones hechas en Colombia en torno a esta temática, El estudio de determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas realizado en el Relleno Sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín (RSCR) en el 2005 por los investigadores Francisco García Rentarías y Rubén Agudelo García, hacen parte de estas pocas investigaciones. Dentro de esta investigación se encontraron trazas de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), específicamente de Benceno, Tolueno, Xileno, Cloruro de vinilo y Hexano, que no excedieron el valor de umbral límite de exposición, de igual forma no llegaron a afectar a la población más cercana que se encontraba a unos 385m del Relleno Sanitario Curva de Rodas.

La metodología de investigación de este trabajo, se enfoca en conocer las zonas de influencias directa e indirectas cercanas al Relleno Sanitario Palangana de la ciudad de Santa Marta, que son afectadas por la dispersión del CH_4 , con el fin de

saber si estos gases afectan a la comunidad cercana y realizar un aporte más al tema de estudios de emisiones de biogás provenientes de los Rellenos Sanitarios en Colombia, ya que la investigación se efectuó con la aplicación del modelo matemático Industrial Source Complex Short Term 3 (ISCST3) de la Agencia Americana de Protección Ambiental (EPA), el cual tuvo como objetivo determinar la dispersión del CH₄ en zonas de influencia directa e indirecta al Relleno Sanitario Palangana.

Cabe resaltar que este proyecto permitirá también observar de que manera las emisiones provenientes del Relleno Sanitario afectan a las poblaciones cercanas, debido a la existencia de asentamientos urbanos en zonas de influencia al Relleno Sanitario, tales como: Altos de Villa Concha, que fue construido hace 6 años en la comuna 5 de Santa Marta, y que incluye los barrios Chimila 2, los Fundadores y Divino Niño encontrándose a menos de 1000m del relleno, teniendo una densidad de población de 20 mil habitantes aproximadamente expuestos a esto contaminantes, de los cuales 8500 son menores de 13 años.¹

Como resultado, se presenta la dispersión del CH₄, en zonas de influencia del Relleno Sanitario. Esta información podrá ser utilizada por la empresa prestadora del servicio de recolección y disposición final de los residuos sólidos para el desarrollo de propósitos futuros que estén orientados al control de las emisiones de gases de efecto invernadero y que permita entrar en el mercado del carbono por la vigencia del Protocolo de Kioto (PK).

Este documento consta de (5) cinco capítulos. El primero de ellos se limita a las características de los gases a estudiar, la importancia del estudio de estos gases a nivel mundial, contextualiza en el tema de dispersión y modelación de gases atmosféricos y permite hacer un análisis de los aspectos legales involucrados en

¹ http://colombia.indymedia.org/news/2005/03/23398_comment.php, fecha de consulta: Nov 20 de 2006, Algo huele mal en Santa Marta por Carlos A. Sourdis Pinedo Domingo , Mar. 20 de 2005

el desarrollo del trabajo. En el segundo capítulo se describen las variables meteorológicas que se involucraron permitiendo identificar y hacerse una idea clara del área de estudio donde se realizó la investigación. Posteriormente en el tercer capítulo se realiza una descripción detallada de la metodología utilizada, y se muestra una descripción del modelo con el que se trabajó; en el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos con la aplicación del modelo, para finalizar en el quinto capítulo con las conclusiones alcanzadas a partir del análisis de los valores obtenidos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar la dispersión de metano en zonas de influencia al Relleno Sanitario Palangana de la ciudad de Santa Marta mediante el uso del modelo ISCST3.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Conocer La Cantidad Y Composición De Biogás Que Se Genera Por La Disposición Final De Residuos Sólidos En El Relleno Sanitario Palangana.

1.2.2 Simular La Dispersión De Metano Generado Por La Disposición Final De Residuos Sólidos En El Relleno Sanitario Palangana.

1.2.3 Calibrar El Modelo Matemático Iscst3.

1.2.4 Determinar Las Zonas Que Se Ven Influenciadas Directa E Indirectamente Por Las Emisiones De Metano A La Atmósfera.

2. MARCO TEORICO

2.1 RELLENO SANITARIO

El Decreto 1713 del 6 de agosto de 2002, expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 y la Ley 689 de 2001 en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos (RS), define al relleno sanitario como un lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de Ingeniería para la confinación y aislamientos de los residuos en un área mínima, con compactación de los residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados y cobertura final (Collazos, 2005).

Históricamente los Rellenos Sanitarios han sido el método más empleado para la disposición de los residuos sólidos municipales (RSM), y actualmente son indispensables en la estrategia global de tratamiento de RSM de cualquier país. Hasta hace algunos años la practica normal fue botar la basura a cielo abierto produciendo, malos olores, proliferación de plagas, contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, alteración del paisaje y un gran riesgo para la salud del hombre. Actualmente el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), viene expidiendo normas como el Decreto 838 y la Resolución 1390 ambos del año 2005, que obligan a los municipios a seleccionar sitios apropiados para la disposición final de las RS y a cerrar, clausurar o recuperar los actuales botaderos de RS.

Hasta la fecha, se ha logrado que más del 90 % de las basuras que se generan en Colombia se dispongan adecuadamente. De 25.080 toneladas diarias que se producen en 1.088 municipios, aproximadamente 1.800 toneladas se siguen ubicando en sitios inadecuados de disposición final. La expedición de la Resolución 1684 de 2008 permite a aquellos municipios que vienen disponiendo los residuos sólidos correctamente y adelantando su Plan de Manejo Ambiental, continuar con la colocación adecuada de estos residuos en celdas transitorias por un año adicional, aprovechando la vida útil remanente del relleno, siempre y cuando se adecuen las zonas colindantes afectadas ambientalmente. Ante este hecho se puede inferir que la situación sobre la disposición de los residuos sólidos está mejorando y continuará en mejora².

Una característica sobresaliente de los RSM en Colombia es su alto contenido de materia orgánica. Esto implica que, en las condiciones habituales que tienen lugar en un relleno sanitario, pueda darse la proliferación de las poblaciones de microorganismos contenidas en los propios residuos y con ello la degradación biológica de dicha fracción orgánica (Borzacconi, 2000). Como resultado de esta actividad biológica y del pasaje de una fase acuosa a través de los residuos se produce un lixiviado caracterizado por un alto grado de concentración de contaminación orgánica y a la vez productos gaseosos que se conocen como biogás en donde la producción de emisiones varía en el tiempo y con las condiciones ambientales en las cuales ocurre, teniendo en cuenta que la descomposición bacteriana de diversos residuos orgánicos contenidos en basuras, tienen distintas curvas biológicas, lo que conlleva a que este proceso continúe aproximadamente de 10 a 20 años (Borzacconi, 2000).

² Fuente: MAVDT (Publicado en septiembre del 2008). Retrieve Febrero 11 del 2009, from http://www.minaambiente.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?catID=797&conID=2729&pagL=2402



2.2 GENERACIÓN, COMPORTAMIENTO Y ESTUDIOS DE LOS GASES ATMOSFÉRICOS ORIGINADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS

En el relleno sanitario se presenta la degradación de la materia orgánica, generando como subproductos lixiviados y gases. Los subproductos gaseosos constituyen una mezcla compleja de gases conocida como biogás, la cual incluye principalmente metano (CH_4) (aproximadamente entre 50% a 60%) por volumen, y CO_2 (entre 40% y 50%) (Goldberg MS et al., 1995; EPA, 1989; Environmental Agency, 2004; Vigneault H et al., 2004; Siemiztycki J., 1991). El resto del biogás está constituido por monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), así como compuestos orgánicos no metanogénicos (NMOC, del inglés Nonmethane Organic Compounds), estos últimos en muy bajas proporción frente a los otros. Los NMOC pueden ser tóxicos y significar riesgos para la salud pública. Muchos de ellos clasifican dentro de los compuestos orgánicos volátiles (VOC), tales como la acetona, benceno, clorobenceno, cloroformo, diclorometano, bromuro de etileno, etilbenceno, tolueno, xileno y acetato de vinilo (García y Agudelo, 2005).

La generación de gases en rellenos sanitarios se realiza en tres etapas (Velásquez, 2005). La primera, es aeróbica, es decir en presencia de oxígeno contenido en los diferentes residuos que se disponen en el relleno, esto permite la formación de CO_2 , agua, materia parcialmente descompuesta y energía, a una temperatura aproximadamente entre 35°C y 40°C . La segunda etapa, juega un papel importante la acción de microorganismos que forman ácidos facultativos, con producción de ácidos orgánicos y disminución del pH, disolviéndose con éste los elementos inorgánicos en el agua. La tercera etapa, la materia orgánica descompuesta en las dos etapas anteriores se expone a un proceso anaerobio, debido a la acción de microorganismos formadores de CH_4 , que actúan lenta pero eficazmente en la producción de CH_4 , CO_2 y agua (H_2O). Estas etapas pueden darse simultáneamente, sumándole que la diversidad de los residuos enterrados

varía la duración de cada una generando una dinámica de mayor o menor facilidad de degradación (Velásquez, 2005).

La generación de biogás en los rellenos representa riesgos para el medio ambiente debido a que los rellenos sanitarios son el destino de miles de sustancias tóxicas, de uso doméstico o industrial (Environmental Research Foundation, 1998; Vigneault, 2004), siendo así el segundo problema medioambiental en importancia, detrás de la producción de lixiviado (García y Agudelo, 2005). Estudios realizados en Estados Unidos sobre el efecto en la calidad del aire de las emisiones gaseosas originadas en rellenos sanitarios, revelaron que estos emiten toxinas aerotransportadas en el ambiente local. El CARB (The California Air Resources Board) seleccionó diez (10) sustancias tóxicas presentes en el biogás para ser monitoreados en rellenos sanitarios, la selección de estos gases obedeció a sus efectos sobre la salud (particularmente el cáncer) en personas que han estado expuestas a los mismos, por largos periodos de tiempo. Estas sustancias son: cloruro de vinilo, benceno, dibromuro del etileno, bicloruro de etileno, cloruro metileno, percloroetileno, carbonato de tetracloruro, 1,1,1-tricloroetano, diclorometano, tricloroetileno y cloroformo. Entre los resultados reportados por el CARB tenemos: Al menos uno o más de estas diez sustancias químicas tóxicas están presentes en el ambiente próximo de 240 (67%) rellenos sanitarios de un total de 356 sitios analizados; Los rellenos sanitarios de residuos peligrosos y residuos sólidos municipales presentaron una habilidad similar para producir gases tóxicos (García y Agudelo, 2005).

En Colombia, García y Agudelo realizaron un estudio sobre la determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el Relleno Sanitario Curvas de Rodas de la ciudad de Medellín (RSCR), en el cual se encontraron trazas de VOC. Esta investigación analizó la presencia de benceno, tolueno, xileno, cloruro de vinilo y hexano. Al analizar las concentraciones de emisión que presentan cada uno de éstos, se encontró que ninguno excede el TWA (Valor umbral límite de

exposición). Mediante la ayuda de un modelo gaussiano (Air Force Toxic Chemical Dispersion Model , AFTOX) con el cual se simuló la distancia a la cual puede dispersarse una determinada sustancia gaseosa dando un rango de peligrosidad que por defecto se fija como el valor umbral límite-promedio ponderado en tiempo (TLV-TWA), se determinó que la dispersión de estos gases no alcanza a afectar las áreas pobladas aledañas al RSCR.

Con las evidencias arrojadas por estos estudios, se identifica la necesidad de realizar una investigación encaminada a determinar la dispersión de (CH_4) en zonas de influencia cercanas al Relleno Sanitario Palangana de la ciudad de Santa Marta RSP, debido a que el CH_4 puede servir como un trazador ayudando a determinar las zonas de influencias que pueden ser más vulnerables por la posible presencia de una variedad de sustancias químicas tóxicas volátiles peligrosas que son una amenaza significativa a la salud pública.

La importancia del CH_4 en esta investigación también radica en que es generalmente conocido por representar riesgos para la seguridad personal y los daños a la vegetación circundante por riesgos de incendios, debido a su carácter explosivo en altas concentraciones, oscilando entre el 5 a 15% por volumen y en presencia de O_2 (García y Agudelo, 2005;Vigneault, 2004; Borjesson et al., 2000) . El CH_4 tiene poco significado en el aumento de los niveles de Ozono (O_3) en las zonas urbanas, debido a que es poco reactivo con el hidróxido (OH). Sin embargo, es el segundo contribuidor más grande para el calentamiento global entre los gases antropogénico del efecto invernadero, después de CO_2 . (García y Agudelo, 2005;Vigneault, 2004; Scharff, 2005; Talyan et al., 2006; Borjesson et al.,2000).

El Tercer Reporte de Evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) aportó parte de los elementos que hacían falta para establecer nexos entre el calentamiento global y la actividad humana, dando como resultado las siguientes premisas: (1) El calentamiento global es un hecho documentado

científicamente; (2) Este calentamiento se debe a gran parte de actividades antropogénicas, especialmente las que se han registrado durante los últimos 50 años; (3) El CH₄, gas de efecto invernadero, se produce en los sitios de disposición de residuos sólidos municipales, trátase de un relleno sanitario o un vertedero a cielo abierto. De forma complementaria se elaboró el protocolo de Kioto, inscrito en el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, aprobado en Nueva York el 9 de mayo de 1992. Los países signatarios de este convenio, tienen el compromiso de elaborar inventarios y reducir las emisiones de determinados gases de efecto invernadero (GEI), responsables del calentamiento del planeta (Solórzano, 2003).

Los GEI que se establecieron en el protocolo de Kioto son: óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), CO₂, y CH₄. Aunque el principal contribuyente individual es el CO₂, se ha encontrado que el potencial de calentamiento global del CH₄ (en rango de tiempo de 100 años) es 21 veces mayor a una masa equivalente de CO₂. (García y Agudelo, 2005; Vigneault, 2004; Solórzano, 2003). La emisión global de CH₄ se estima entre 20 y 70 tg/año (1tg = 10¹²g) (García y Agudelo, 2005).

2.3 DISPERSIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES CONTAMINANTES

Los estudios de dispersión y determinación de la cantidad de gases contaminantes son parte fundamental de proyectos en los cuales el impacto sobre el ambiente afecta el medio atmosférico. Cada vez son más los tipos de proyectos para los que las autoridades ambientales exigen estos estudios con el fin de comprobar su viabilidad ambiental. La dispersión de gases contaminantes puede ser estudiada a escala local, teniendo en cuenta que el área comprendida tenga un radio de hasta 50 km alrededor de la fuente, o escala regional alcanzando radios de miles de kilómetros. Dependiendo de la escala (regional o local), se implementan diferentes

modelos de dispersión de contaminantes para determinar las concentraciones. Para la escala local, la dispersión de contaminantes primarios es influenciada principalmente por parámetros meteorológicos, como la velocidad, la dirección del viento, la temperatura ambiente y la altura sobre el nivel del mar, entre otros.

Desde el punto de vista de la dispersión de contaminantes, la predicción de concentraciones contaminantes en receptores seleccionados, usualmente se hace por medio de modelos matemáticos (Henry J et al., 1999). La modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos, se convierte en una herramienta fundamental utilizada para conocer, cómo cambian en el tiempo y en el espacio las concentraciones o las razones de mezclas de una sustancia identificada como contaminante, con el objeto de predecir y analizar la calidad en el aire (Bustos, 2004). Varios modelos de dispersión atmosférica han sido discutidos por La Agencia Estadounidense para la Protección Ambiental (US EPA), que ha propuesto una amplia gama de modelos basados en modelación Gaussiana, tales como ISCPRIME, ACE2588, ACEHWCF, ISCST3, AFTOX, ASPEN, entre otros³.

Los modelos gaussianos son ampliamente usados, de fácil entendimiento y aplicación y han recibido aprobación internacional. Bustos señala, en su análisis "Uso de modelos gaussianos desde la perspectiva internacional", que los procesos o factores que influyen significativamente en la concentración de contaminantes en el aire deben ser suficientemente caracterizados para que puedan ser descritos cuantitativamente por el modelo de dispersión. Estas caracterizaciones pueden ser clasificadas de acuerdo a las particularidades de la fuente, condiciones meteorológicas, escala geográfica, topografía y propiedades de los contaminantes, y argumenta que estos modelos desarrollados y usados en países industrializados pueden ser útiles en países en vías de desarrollo, aclarando que su uso puede

³ Environmental Protection Agency. Dispersion Modelling. Disponible desde internet en <<http://www.epa.gov/scram001/dispersionindex.htm>> (con acceso el 12-11-2006).

requerir de una adaptación o calibración de acuerdo a la topografía y patrones meteorológicos propios del lugar y condiciones bajo las que son utilizados.

El modelo gaussiano de fuente puntual continua, como es el caso de una chimenea, supone como hipótesis de partida que las concentraciones de contaminante en cualquier punto considerado viento abajo están estabilizadas y no dependen del tiempo. Este modelo describe el comportamiento de los gases y vapores de fuerza ascensional neutra, dispersados en la dirección del viento y arrastrados a la misma velocidad. Estas fórmulas tienen la velocidad del viento uniforme en el denominador, sufriendo aberraciones en condiciones de calma. Por ello, es acostumbrado especificar una velocidad del viento permisible mínima para el modelo. Entonces, teniendo en cuenta lo anterior, si se apropia un buen número de supuestos simplificadores es posible desarrollar ecuaciones de difusión gaussiana para describir la dispersión atmosférica de una emisión desde un área de disposición de residuos sólidos y su receptor (M&A, 2005).

La base para modelar es la ecuación de la pluma Gaussiana recta en estado estable; es decir que al modelar la emisión se representa su comportamiento mediante ecuaciones matemáticas. La teoría Gaussiana que fundamenta los modelos de dispersión sostiene que una pluma emitida por una fuente se dispersa desde la fuente a lo largo de un eje sotavento (en función de la velocidad del viento) y transversalmente a él, tanto horizontal como verticalmente, siendo correspondiente con la ecuación de la distribución normal de la campana de gauss (en función de la condición atmosférica), de donde toma su nombre el modelo. Dicho eje lo constituyen los puntos centrales de la pluma y estos son los puntos en los que se espera encontrar mayor concentración del contaminante. Las dimensiones de la sección transversal de la estela pueden ser representadas como una distribución normal: el ancho será 4,3 veces la desviación estándar en esa dirección y el alto análogamente corresponderá a 4,3 veces la desviación estándar en la dirección vertical. Siendo así, el ISCST3 permite considerar áreas

de modelado consistentes en mallas de tipo Lagrangiano en las cuales puede considerarse la topografía de la zona (Benavides, 2003; Peralta J et al., 2005).

La representación bi-Gaussiana de la concentración del contaminante en la pluma se muestra en la siguiente Figura 1. La dispersión de la pluma se produce alrededor de su línea central, en las direcciones “y” y “z”, es decir horizontal y verticalmente. La dirección “x” corresponde a la dirección de avance de la pluma, debido principalmente a la velocidad del viento y no a un fenómeno dispersivo.

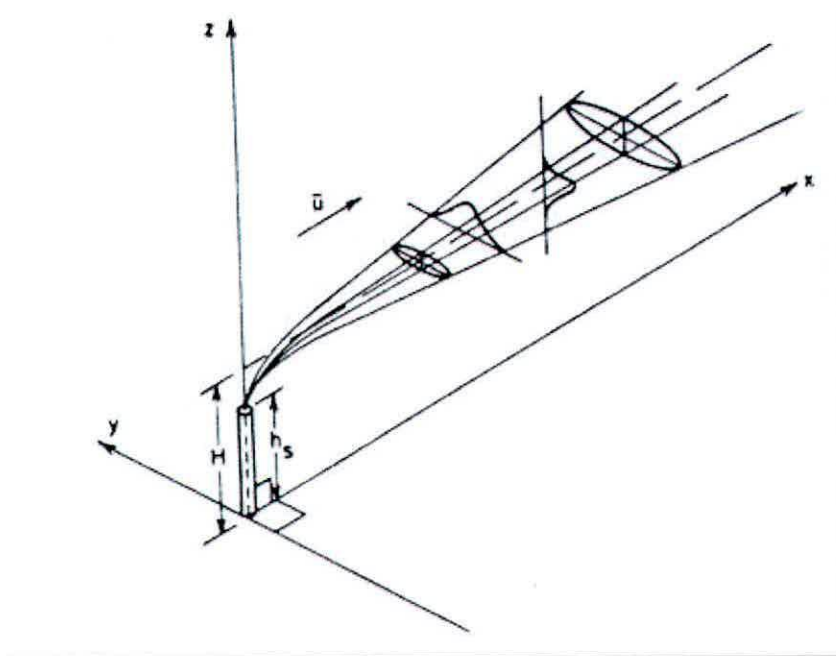


Figura 1. .Representación de la pluma Gaussiana

La distribución bi-Gaussiana de la pluma está caracterizada por la desviación estándar en ambas direcciones, dado por σ_y y σ_z , respectivamente. A estas desviaciones estándar se les denomina coeficientes de dispersión de la pluma. La ecuación que describe dicho comportamiento se representa en la ecuación 1 (M&A, 2005).

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (1)$$

Donde:

\bar{c} = Concentración del contaminante.

Q = Tasa de descarga del contaminante.

\bar{u} = Velocidad media del viento a la altura de la chimenea

H = Altura efectiva de la chimenea

σ_y = Coeficiente de dispersión horizontal. Desviación estándar de la concentración de contaminantes en la dirección "y" (horizontal).

σ_z = Coeficiente de dispersión vertical. Desviación estándar de la concentración de contaminantes en la dirección "z" (vertical).

x, y, z = Distancias viento abajo, transversal al viento y vertical, respectivamente.

Como se observa en la Figura 1, la altura efectiva de la pluma (H) difiere de la altura física de la chimenea (h). Por esto se define altura efectiva de la pluma como la altura sobre la elevación del penacho emitido a la atmósfera. Es el máximo incremento de la altura que alcanza el penacho por encima de la altura de la chimenea; la suma de la altura de la chimenea y la sobre elevación define la altura efectiva de emisión del penacho, como la altura a la que principalmente se va a transportar el centro del penacho a lo largo de su trayectoria. Esta sobre elevación está provocada por la velocidad vertical de salida de los gases de la chimenea (componente cinética) y por la mayor temperatura que suelen tener los gases emitidos (componente térmica) (EPA, 1995; Peralta J et al, 2005).

La principal dificultad en la aplicación de la ecuación 1 es la estimación de los coeficientes de dispersión de la pluma. Esta estimación debe reconocer las influencias meteorológicas que la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica

tienen sobre la dispersión de la pluma. Todos estos aspectos hacen que los coeficientes de dispersión sean valores que pueden ser determinados a través de mediciones. Debido a la dificultad y a lo tedioso que resulta determinar los coeficientes de dispersión para cada lugar de estudio y sus condiciones locales, se han realizado trabajos relativos a relacionar los coeficientes de dispersión en función de la estabilidad Atmosférica y el tipo de terreno (rural u urbano) (EPA, 1995).

El modelo ISC3 (Industrial Source Complex) es ampliamente utilizado gracias a su capacidad de modelar en terrenos planos y complejos, las fuentes del punto y del no-punto y su aceptación por las agencias reguladoras (Khanht, 2002). Este es el modelo más utilizado a nivel mundial. Este sistema permite modelar emisiones de un amplio rango de fuentes que suelen estar presentes en una zona determinada. Su base es la ecuación de penacho gaussiano en estado estacionario, que se usa, con algunas modificaciones, para modelar emisiones puntuales simples desde chimeneas, con o sin influencia de los edificios próximos, conductos de ventilación aislados o en grupo, pilas de almacenamiento, cintas transportadoras, etc. Dicho sistema posee dos versiones, una de corto plazo (ISCST3), y de largo plazo (ISCLT3).

La versión (ST-Short Tem) es un modelo diseñado para generar resultado de corto plazo, estos promedios de concentración de una hora, con información de entrada horaria. A veces estos modelos corren 8760 horas y de esta manera se obtienen los resultados de un año. Una de sus grandes limitantes es la imposibilidad de obtener información horaria de entrada (meteorología y emisiones). La versión (LT-Lon Tem) utiliza como información de entrada de datos promedios de un mes o más, preferiblemente un año, para estimar las concentraciones promedios mensuales, trimestrales o anuales que se denominan concentraciones de largo plazo. Estos resultados son comparables con las

normas de calidad de aire dadas como promedios anuales (GTC59-ICONTEC, 1998).

Unos de los parámetros más importantes a considerar durante el diseño de un sistema de recolección de gases es el radio de influencia de los pozos de recolección. La definición usada aquí para radio de influencia es la distancia radial promedio de un pozo de recolección que define un volumen dentro del cual el 90% del gas del relleno generado por la basura se recupere en el pozo. El radio de influencia varía con el tiempo. Su magnitud es ante todo una función del rango de bombeo (succión) en el pozo, pero también depende de otras propiedades, como el rango de generación de gas en la basura, la edad de la basura, las propiedades físicas de la materia, el grosor de la basura y la variación de la presión atmosférica. Este tema se ha tratado muy poco en la literatura. En diseños tradicionales, el radio de influencia se fija arbitrariamente a 30 metros y el número de pozos requeridos para determinado lugar se calcula. Sin embargo, las pruebas en el terreno han demostrado que el radio de influencia puede ser mayor o menor 30 metros (Vigneault, 2004).

La determinación de la dispersión de contaminantes de rellenos sanitarios, requiere de una metodología basada en modelos matemáticos, los cuales deben ser cuidadosamente seleccionados según las condiciones del relleno al cual se piensa realizar la investigación y en donde la eficacia de los resultados se base en la eficiencia y certeza de los datos que alimentarán los modelos.

2.4 CONDICIONES DE SEGURIDAD

En Chile se viene desarrollando normas en estudio referidas a condiciones de seguridad de los trabajadores y la generación de mezclas explosivas debido a la migración y acumulación de metano en el aire, entre éstas encontramos el Proyecto de Reglamento de Rellenos Sanitarios en consulta pública desde el 3 de

enero del 2003. En el cual de acuerdo al Artículo 46 del Proyecto de Reglamento de Rellenos Sanitarios, “en todo relleno sanitario la concentración de gas metano no podrá exceder del 25% de su límite de explosividad inferior en las estructuras de la instalación ni en los límites de éste”.

Se entiende por límite inferior de explosividad, la concentración porcentual mínima en volumen de una mezcla de un gas combustible en el aire capaz de propagar una llama a 25° C y a presión atmosférica. En el caso del metano los límites de explosividad en % en volumen en el aire son 5 a 15. Vale decir que el 25% del límite inferior de explosividad de concentración porcentual mínima en volumen de metano en el aire será de 1,25%.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El Relleno Sanitario Palangana (RSP) se encuentra ubicado en las coordenada N $11^{\circ}15'37,09''$ y W $79^{\circ}09'13,83''$ en la ciudad de Santa Marta DTCH, capital del departamento del Magdalena, a un costado de la vía que conduce al balneario de Bahía Concha, en el sector de Neguanje-Palangana, vía Bahía Concha, correspondiendo a las estribaciones del sistema de la Sierra Nevada de Santa Marta.



Figura 2. Mapa de Santa Marta y el Relleno Sanitario Palangana (Área de estudio)

El área del RSP es de aproximadamente 53 hectáreas, con una adecuación inicial para ser habilitados como relleno sanitario de 17 hectáreas y una proyección de



vida útil a 15 años. El lugar es una zona abierta con algunos relieves ondulados, con colinas de baja altitud, sin uso ni utilización definidos, sobresaliendo un tipo de bosque seco tropical.

3.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La información meteorológica de superficie existente fue recopilada y analizada para el año 2008. Los valores encontrados fueron registrados de la estación Meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ubicada en el Aeropuerto Simón Bolívar, la Tabla 1 muestra la descripción de dicha estación meteorológica.

Tabla 1. Estación seleccionada para la información meteorológica

Código	1501505
Tipo	Sp (Sinóptica principal)
Nombre	Aeropuerto Simón Bolívar
Departamento	Magdalena
Municipio	Santa Marta
Coordenada	1108N 7414W
Elevación	4 msnm
Fecha Instalación	Junio de 1952

Fuente: IDEAM – Santa Marta

Esta estación fue escogida por su cercanía a la zona costera, simulando las características de la zona de estudio, ya que la estación meteorológica del relleno sanitario no se encontraba en funcionamiento para el periodo de estudio. En la Tabla 2 muestra principales parámetros meteorológicos analizados.

Tabla 2. Valores promedios de parámetros meteorológicos

<i>Parámetro</i>	<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Vel. Viento</i> (m/s)	<i>Dir. Vientos</i>
No. de datos	8760	8760	8760
Valor Promedio	28	2,5	Norte
Mínimo	18,1	0,1	N.A.
Máximo	35,05	9,7	N.A.

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

El clima regional se encuentra dominado por dos factores como son el frente de Convergencia Intertropical (FCI) y la barreras conformadas por las altas montañas del sur occidente de la Sierra Nevada de Santa Marta, que evitan la penetración de vientos marinos hacia la sierra orientando topográficamente el movimiento de los vientos y las lluvias.

El clima del área del proyecto se enmarca dentro de las características del litoral Caribe Colombiano, que corresponde a altas temperaturas, con periodos bien definidos de lluvias y de sequias, que favorecen la operación en el RSP. La temporada seca comprende de noviembre-diciembre hasta abril-mayo, la temporada de lluvias los restantes meses del año⁴.

3.2.1 *Temperatura*

La temperatura media que se registró en la estación meteorológica para el año 2008, fue de 28°C, siendo el mes de abril el más caluroso con una temperatura promedio mensual de 28,7°C y registrándose un valor máximo en este mes de 35,1°C y un valor mínimo registrado de 24,5°C.

⁴ Estudio de suelos en el futuro relleno sanitario para el distrito turístico, cultural e histórico de Santa Marta, Corcel Ltda.

La Tabla 3, detalla los valores de temperatura máximos, medios y mínimos que se presentan en todos los meses de Abril a Junio.

Tabla 3. Valores promedios de temperatura en Santa Marta

Valores°C	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máximos	21,3	21,1	22,5	24,5	26,5	25,4	25,2	18,1	26,3	26,2	24,1	21,3
Promedio	26,8	27,4	28,3	28,7	29,0	28,9	28,8	28,7	28,6	28,6	28,2	22,8
Mínimo	32,7	34,1	33,9	35,1	31,4	31,5	31,9	30,4	30,3	29,9	29,9	24,5

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

En la Figura 3 se puede observar la variación en el tiempo de la temperatura. Los meses más calurosos son los de enero, febrero, marzo y abril. Se observa que a partir de estos meses existe un descenso de la temperatura ambiental, notándose mucho más en los meses de Octubre, Noviembre y especialmente en el mes de diciembre.

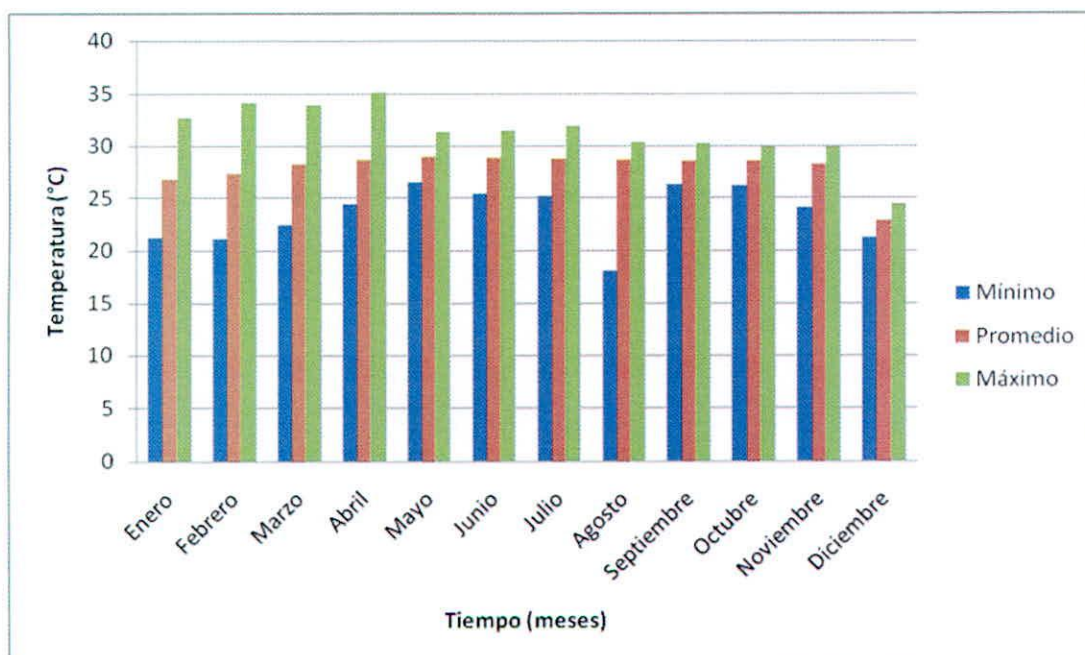


Figura 3. Variación de máximos, promedios y mínimos de temperatura en el año 2008

3.2.2 Velocidad Del Viento

La velocidad promedio que se registró fue de 2,5m/s durante el año 2008 en la Tabla 4. Se observan además los valores máximos, mínimos y promedios registrados mensualmente por la estación meteorológica del IDEAM.

El valor máximo de velocidad fue de 9,7m/s y se registró en el mes de Febrero, se observa que los meses de abril, mayo y junio presentan valores promedios muy parecidos por lo que nos lleva a tomar a estos meses como periodo de estudio, debido que para la utilización de modelos que usan la pluma de Gauus es ideal la utilización de periodos de tiempo cortos que no representen cambios significativos en las condiciones atmosféricas (Vicent E et al, 2004).

Tabla 4. Valores promedio de velocidad del viento en Santa Marta durante el año 2008

Val. (m/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máximos	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Promedio	2,4	3,2	3,3	2,8	2,4	2,3	2,3	2,5	2,3	2,3	2,0	2,4
Mínimo	7,1	9,7	9,6	8,9	8,1	8,2	7,8	8,1	9,4	7,4	8,1	7,4

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

Tabla 5. Valores promedios de velocidades del viento por horas del día

Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	9:00	10:00	11:00	12:00
Vel. (m/s)	1,64	1,60	1,37	1,31	1,27	1,19	1,13	0,92	1,51	1,99	2,40	2,81
Hora	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	--
Vel. (m/s)	3,11	3,41	3,73	4,00	4,22	4,12	3,80	3,52	3,19	2,62	1,98	--

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

Los valores promedios de velocidad por hora del día se registran en la Tabla 5. El compendio de estos datos se conoce con el nombre de perfil diario de velocidad de los vientos y se muestran mediante la Figura 4, en donde podemos observar que las mayores velocidades de los vientos se presentan durante las horas de la tarde iniciando su ascenso a partir de las 8:00am y logrando el valor máximo a las 5:00pm para luego descender. Estos valores máximos de velocidad llegan a alcanzar velocidades de hasta 9,4m/s El mínimo promedio de velocidad de vientos se presenta a las 7:00am.

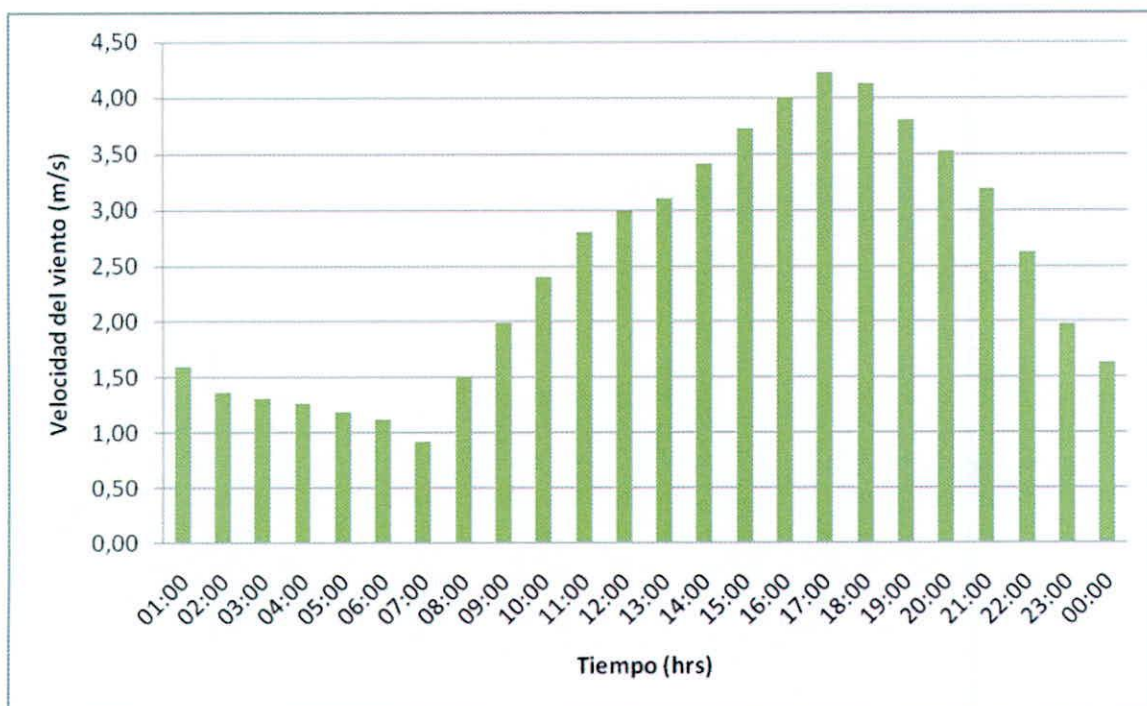


Figura 4. Perfil diario de la velocidad del viento

3.2.3 Frecuencia De Los Vientos

La dirección predominante de los vientos, durante el periodo de muestreo, es la dirección norte presentando valores máximos en el mes de Marzo. Como se muestra en la Tabla 6.

3.2.1 Rosa De Vientos

Los resultados de la rosa de vientos se muestran en la Figura 5, como una función de velocidades y dirección del viento para 8 direcciones del viento predominante. La dirección predominante de los vientos es la Norte con un 27% de frecuencia acumulada.

Tabla 6. Valores de frecuencia de Dirección del viento (%) en Santa Marta durante el periodo de estudio

DIRECCION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
N	40	40	50	36	24	20	26	22	16	16	9	14
NE	18	14	8	8	11	12	9	8	10	10	28	49
E	8	7	2	4	7	10	8	7	9	9	10	4
SE	4	3	3	5	10	12	10	15	10	10	8	1
S	3	8	6	14	12	16	15	17	19	19	13	5
SW	15	15	14	10	9	9	13	11	12	12	11	15
W	9	7	6	9	12	8	8	8	7	7	9	7
NW	4	6	9	14	14	11	13	11	10	10	9	5
CALM	0	0	0	0	0	1	0	0	8	8	4	1

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

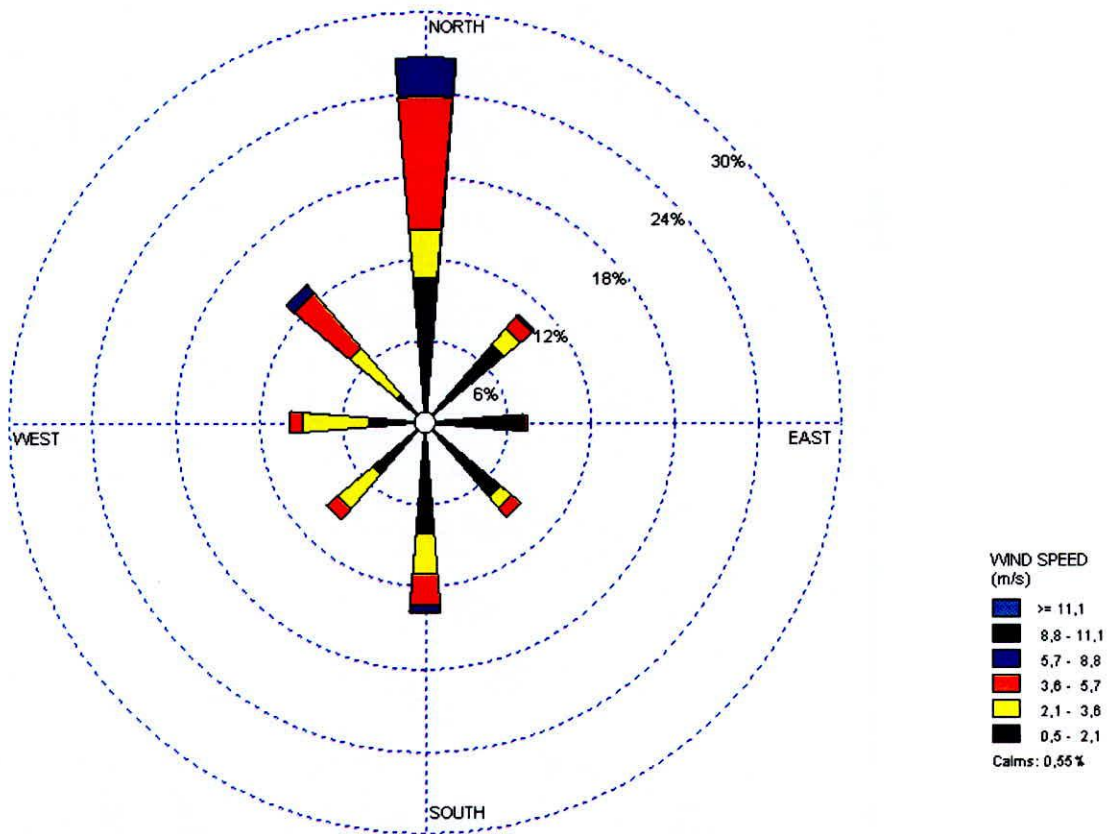


Figura 5. Direcciones predominante de los vientos en Santa Marta

4. METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo de investigación se llevo a cabo en 5 actividades principales, que se clasifican en: determinación del caudal del biogás generado dentro del Relleno Sanitario y composición del mismo, la simulación y calibración de la dispersión de metano (CH_4) y la posterior determinación de las zonas que se ven influenciada directa e indirectamente por las emisiones de biogás provenientes del Relleno Sanitario.

La metodología de trabajo se realizó con la colaboración de la empresa INSPECTORATE. Esta empresa es la encargada de realizar mediciones de caudal mensualmente dentro del Relleno Sanitario Palangana (RSP), al igual, que la caracterización del biogás emitido por el mismo. La empresa INTERASEO ESP SA considero pertinente que el trabajo de monitoreo que se lleva a cabo mensualmente dentro del relleno sanitario por INSPECTORATE se articulará con la metodología de trabajo que se planteó para este proyecto de investigación. Debido a lo anterior, se analizó la metodología de trabajo de la empresa INSPECTORATE y se realizó el trabajo de campo en conjunto.

4.1 CONOCER EL CAUDAL DE BIOGÁS GENERADO

Para determinar el caudal de biogás que se genera dentro del RSP por la descomposición de los residuos domiciliarios que este recibe, tomaron los *estudios técnicos de monitoreo de Biogás en las chimeneas del relleno sanitario* que realiza la empresa INSPECTORATE (ver ANEXO A). El caudal de biogás analizado es el que se evacua por medio de las chimeneas, no incluye el caudal que se escapa por las fisuras del relleno sanitario al momento de realizar la compactación. Al momento de realizar las mediciones en el Relleno Sanitario

Palangana existían 45 chimeneas que conformaban el sistema de evacuación del biogás producido a la atmósfera. Las estructuras de las chimeneas son de PVC y sus diámetros varían entre 12, 16,5 y 18cm respectivamente. Estas chimeneas se encuentran ubicadas de manera vertical dirigidas hacia el terreno para que permita la salida del Biogás. Algunas tienen un quemador de gases en la parte superior de la tubería, el cual tiene un tubo que comprime el biogás que se emite a la atmósfera, permitiendo la combustión del CH₄, siendo ésta una medida de control para la emisión del mismo, en total se observaron 26 chimeneas con esta estructura.

Las mediciones del caudal se realizaron de manera directa con duplicados en cada chimenea, esperando un lapso mínimo de 15 minutos entre cada medición para permitir la estabilización del equipo. La instrumentación utilizada para la medición del caudal de biogás que emiten las chimeneas muestreadas fue un Anemómetro o flujómetro marca LUTRON modelo AM-4206, que permite medir el flujo del gas en m³/min. Además, mide la temperatura y la velocidad de flujo. En la Figura 6 se puede observar el Anemómetro utilizado para la medición del caudal por parte de la empresa INSPECTORATE. Los resultados de las mediciones se pueden observar en el ANEXO A.



Figura 6. Anemómetro utilizado por la empresa INSPECTORATE para medir el caudal de las chimeneas

Se dividió el RSP en 6 niveles, partiendo de la antigüedad de los residuos sólidos dispuestos, estas zonas se nombraron niveles 1 y 2, 3, 4, 5, 6 y 7. El nivel 1 y 2, es la parte más baja del relleno sanitario, ésta abarca un pequeño sector al inicio del mismo y contiene un bajo nivel de residuos sólidos dispuesto. El nivel 3 hace parte del costado de la zona donde se están disponiendo los residuos sólidos y es el límite entre el camino que conduce a los niveles superiores de disposición. Los niveles 4, 5, 6, 7, son los que presentan mayores tamaños y es donde está dispuesta la mayor cantidad de residuos sólidos. Cabe resaltar que en el periodo de estudio se pudo observar que los niveles que se encontraban en funcionamiento para la disposición de residuos eran el 4, 6 y 7. En la Tabla 7 se puede observar los diferentes niveles en los que se dividieron el relleno sanitario y en la Figura 7 la división de cada uno de los niveles en el RSP.

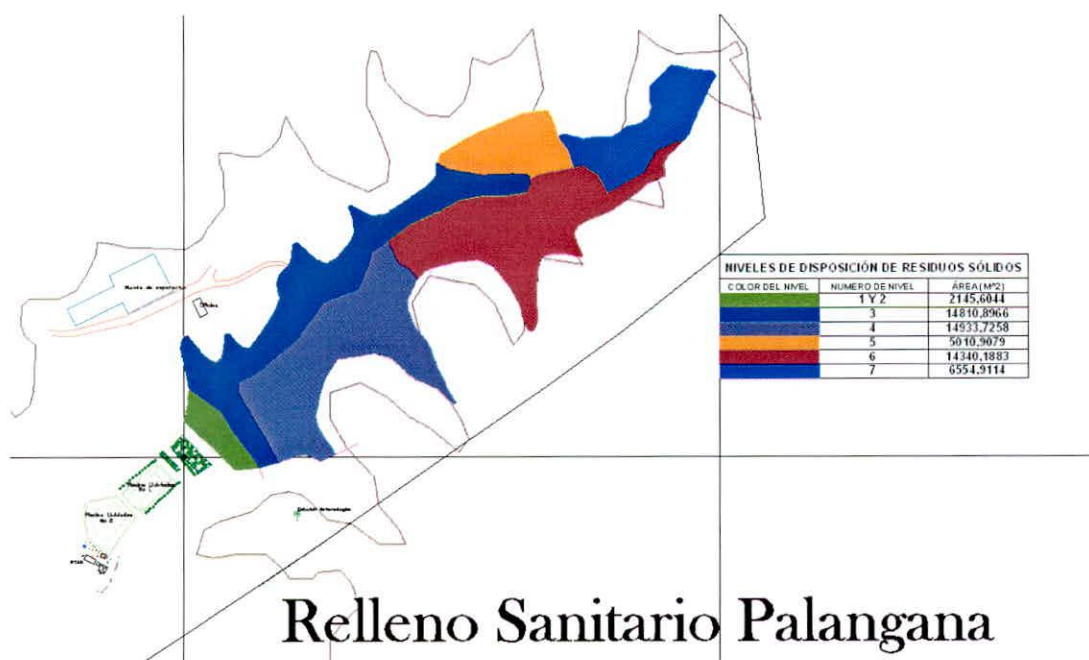


Figura 7. División de niveles dentro del Relleno Sanitario Palangana

La empresa INSPECTORATE tomó muestras representativas mediante la técnica de muestreo estratificado que consiste en la división previa de la población de



estudio en este caso las chimeneas, se dividieron en grupos o clases que se suponen homogéneos respecto a característica a estudiar. En total fueron 7 chimeneas muestreadas durante los tres meses estudiados. El número de chimeneas muestreados en cada mes se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Número de chimeneas por nivel y puntos de muestreo

Niveles	P.Muestreo	#Chimeneas	#Quemadores	#Muestra	Periodo
1y2	Chimenea No 13	6	1	2	Mensual
3	Chimenea No 17	12	12	2	Mensual
4	Chimenea No 24	7	7	2	Mensual
5	Chimenea No 33	4	1	2	Mensual
6	Chimenea No 32	11	5	2	Mensual
	Chimenea No 35				
7	Chimenea No 36	5	0	2	Mensual

Fuente: Investigadores

La medición del caudal se realizó permitiendo que el flujo del biogás pasara por el sensor del anemómetro. El muestreo se realizó durante 30 minutos en cada uno de los puntos de muestreo con su respectiva repetición o replica.

4.2 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

La composición del biogás en materia de CH₄, CO₂, O₂ y H₂S fue determinada por la empresa INSPECTORATE, la cual utilizó un explosímetro marca IMPACT-PRO con cartucho para analizar los cuatros gases estudiados. Los cartuchos y el equipo fueron calibrados con las diferentes normas europeas: Para gases combustibles (CH₄) EN 50054:1998, para O₂ EN 50104:2000, para H₂S y CO₂ la EN 45544-1:1998 y EN 45544-2:1998. El rango de operación del equipo Impact Pro para CH₄ 0-100LEL, O₂ 0-25%v/v, 0.2 a 3%v/v y H₂S 0.4 a 50 ppm. En la

Figura 8 se observa el explosímetro utilizado para estimar las concentraciones de los gases emitidos por las chimeneas. Las mediciones de composición del biogás se realizaron para los meses de abril y junio,



Figura 8. Analizador de gases Impact-Pro, utilizado para analizar la concentración de los gases estudiados

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos de concentración para cada gas se aplicó el análisis de la varianza (ANOVA), con el fin de comparar los diversos valores medios en las mediciones de cada uno de los 6 niveles y determinar si alguna de las concentraciones de cada gas estudiado en su respectivo nivel difiere significativamente del resto.

Este análisis estadístico va enfocado a descomponer la variabilidad total de los datos en dos fuentes de variación: la debida a los niveles y la debida a la precisión de cada una de las mediciones por mes. Matemáticamente la suma de los cuadrados totales SS_T (Ecuación 2) puede descomponerse como una suma de dos sumas de cuadrados

$$SS_T = SS_R + SS_N \text{ (2) en donde,}$$

SS_T = Suma de las diferencias al cuadrado de cada resultado individual respecto a la media de todos los resultados.

SS_R = Desviación entre las diferentes mediciones obtenida mensualmente.

SS_N = Desviación entre los resultados de las concentraciones media entre niveles.

Los valores obtenidos de desviación se dividen por sus respectivos grados de libertad obteniendo así la varianza para cada uno de las desviaciones mencionados anteriormente, las varianzas se denominaron MS_R y MS_N . Esta se compara mediante una prueba de hipótesis F . Si no existe diferencia estadística significativa entre ellas, la presencia de errores aleatorios será la causa predominante de la discrepancia entre los valores medios. Si, por el contrario, existe algún error sistemático, MS_{lab} será mucho mayor que MS_R , con lo cual el valor calculado de F será mayor que el valor tabulado F_{tab} para el nivel de significación α escogido y los grados de libertad mencionados.

4.3 SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE METANO GENERADO POR LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RSP

4.3.1 Valoración de la Concentración de Metano en los Puntos Receptores

La valoración de la concentración se realizó para un periodo de 3 meses, correspondientes a los meses de Abril, Mayo y Junio del 2008., por ser estos meteorológicamente similares, ya que para el modelo Gaussiano es necesario periodo cortos donde no se presenten cambios significativos en las condiciones atmosféricas ni tampoco en el contaminante emitido

4.3.1.1 Determinación de Parámetros para la Modelación

Para la modelación con el ISCST3 se evaluó en el RSP cada una de las chimeneas como una fuente puntual. Se agruparon las 45 chimeneas en sus respectivos niveles (Ver ANEXO B) teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

Tasa de Emisión de Metano (Qs): Se determinó estableciendo un promedio del caudal de emisión en cada una de los niveles que fueron escogidos para establecer los puntos de muestreo por INSPECTORATE durante los tres meses seleccionados como periodo de estudio. Luego se le dieron los respectivos valores a las chimeneas pertenecientes a cada nivel. Posteriormente se procedió a establecer cual era la correspondencia de CH₄ en cada chimenea; teniendo en cuenta las proporciones de gases que se estableció en el estudio de impacto que realizó Ingeambiente LTDA al RSP, (ANEXO C) como requisito para solicitar la licencia ambiental ante la autoridad ambiental CORPAMAG. Teniendo en cuenta esta información se realizaron cálculos con la ecuación de estado de los gases ideales (Ecuación 3) para hallar la densidad del CH₄.

$$Pv = RT, \text{ pero } v = \frac{1}{\rho}, \text{ (3)}$$

Entonces $P \frac{1}{\rho} = RT$, despejando para P

$$P = \rho RT, R = \frac{R_u}{M}, \text{ Donde;}$$

R_u = Constante universal de los gases $8.314 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$

M = Peso molecular.

T = Temperatura en Kelvin.

P = Presión atmosférica.

Finalmente con la definición de densidad (Ecuación 4), se establecieron los diferentes caudales en g/s para cada una de las 45 chimeneas (Ver ANEXO B).

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ (4), Donde;}$$

m = Masa

V = Volumen y ρ = Densidad

Altura y diámetros de la chimenea (Hs): La altura de descarga por encima del nivel del piso y el diámetro de la chimenea se estableció, con ayuda de una cinta métrica. En campo se midieron cada una de las variables y se registraron en la planilla de campo (ver ANEXO B). En la Figura 9 se puede observar a los investigadores realizando la medición de las alturas de las chimeneas y los diámetros.



Figura 9. Medición de alturas y diámetros de chimeneas en campo

Temperatura de Salida (Ts): La temperatura de salida del gas se tomó de los informes realizados por la empresa INSPECTORATE, este valor es entregado en grados centígrados y se realizó la respectiva conversión a kelvin. En el ANEXO B se pueden observar las temperaturas promedios utilizadas por nivel y por chimeneas.

Velocidad de Salida (Vs): La velocidad de los gases se determinó utilizando la ecuación que define el caudal (ecuación 5). Este procedimiento se realizó para cada una de las 45 chimeneas dentro del relleno Sanitario.

$$Q=V*A (5)$$

Donde,

Q = Caudal (m³/seg)

V = Velocidad de salida (m/seg)

A = Área de sección Transversal de la chimenea (m²) ($\pi \cdot r^2$)

4.3.1.2 Datos Meteorológicos

Altura de Mezcla: Para calcular la altura de mezcla se utilizó la expresión propuesta por Nieuwsatdt que asume una capa límite neutro y estacionario.

Ecuación 6

$$h = \frac{a \cdot u_*}{f} \quad (6)$$

Donde:

h = Altura de mezcla

a = Coeficiente empírico igual a 0,3

u* = Velocidad de fricción (m/s)

f = Coeficiente de Coriolis igual a $9,374 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

Estimando que la velocidad de fricción es una décima parte de la velocidad del viento a 10 metros (u), la expresión queda:

$$h = 320 \cdot u \quad (7)$$

Estabilidad Atmosférica: La estabilidad atmosférica se determinó teniendo en cuenta los datos horarios de velocidad del viento y la radiación solar, que varia entre 210 a 230 W/m² en la ciudad, según lo mostrado en la Tabla 8.

Tabla 8. Estabilidad atmosférica basada en la velocidad del viento y radiación global

Velocidad Viento (m/s)	Radiación Solar Global (W/m ²)					
	>700	700-540	540-400	400-270	270-140	<140
<2	A	A	B	B	C	D
2-3	A	B	B	B	C	D
3-4	B	B	B	C	C	D
4-5	B	B	C	C	D	D
5-6	C	C	C	C	D	C
>700	C	C	D	D	D	D

Fuente: Benavides, 2003

4.3.2 *Requerimientos Del Software ISCST3 Y Opciones De Modelación*

El programa que ejecutó el modelo corresponde al archivo "iscst3.exe". Sin embargo, para efectuar la modelación, se requirió preparar previamente un archivo de inicio y un archivo con los datos meteorológicos. También se definió el nombre que tendrá el archivo de salida. El programa se ejecuta en *modo DOS*, y los dos archivos antes mencionados deben estar en el mismo directorio.

4.3.2.1 Manejo De Archivos

El archivo de inicio recibió el nombre de "PALANGANA.inp" y el archivo de salida fue denominado "PALANGANASAL.out". De esta forma, el comando ejecutado ubicando los archivos en el directorio "modelo" del disco C) fue:

```
C:\modelo>iscst3.exe PALANGANA.inp PALANGANASAL.out [ENTER]
```

El archivo meteorológico es activado internamente desde el archivo de inicio. Las características de cada uno de estos archivos se describen a continuación:

Archivo de Inicio: Para una mayor comprensión, en el (ANEXO D) se presenta íntegramente, el archivo (PALANGANA.inp) con los datos de entrada al modelo. Este está dividido en seis rutas funcionales que están identificadas por códigos de dos caracteres, situados al comienzo de cada sección del archivo.

La información está organizada según palabras clave, agrupadas dentro de siglas principales, que presentan un orden lógico basado en sus funciones dentro del modelo. Las opciones disponibles se refieren al control del modelo, fuentes, receptores, meteorología y datos de salida y sus siglas principales asociadas son CO, SO, RE, ME y OU, respectivamente. Dentro de dichas siglas, la información se agregó según las palabras claves principales, representadas por ocho letras cada una, y por palabras clave secundarias o datos específicos.

- **Opciones de Control (CO):** Estas opciones se manejaron bajo la abreviatura CO e incluyeron las opciones de dispersión, los tiempos promedios requeridos, el tipo de terreno del área de estudio, etc. El inicio de esta sección quedó definido con el comando CO STARTING, y finalizó con CO FINISHED. Existen dos palabras claves que permiten al usuario especificar el título de la información: TITLEONE y TITLETWO. En este caso se utilizaron los nombres "Modelación de Metano" y "Relleno Sanitario Palangana", respectivamente.

La palabra clave MODELOPT permitió especificar las opciones de dispersión a utilizar. Se utilizó la palabra clave DFAULT para que el modelo asuma que se trabajará con los parámetros y supuestos tradicionales del modelo. Se seleccionó la categoría RURAL, partiendo de las características del lugar donde está ubicado el Relleno Sanitario Palangana es a las afueras de la ciudad de Santa Marta, y se

indicó el tipo de salidas a ser generado por la corrida: en este caso los valores de concentración ambiental CONC.

Una segunda palabra clave, dentro de las opciones de control, correspondió al término AVERTIME, el cual permitió especificar las concentraciones promedio que se necesitan, ya sea horaria, diaria, mensual o anual. Para la investigación se usó la palabra clave secundaria PERIOD para especificar que las concentraciones promedio se estimarán para el periodo estudiado.

La palabra clave POLLUTID identificó el contaminante modelado para una corrida en particular. El nombre del contaminante debe ser ingresado como SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, TPS u OTHER, cuando no se refiere a ninguno de los anteriores. En este caso se utilizó CH₄.

Finalmente, como la modelación se realizó para terrenos elevados. La palabra clave es TERRHGTS y se ingresó ELEV para modelar en terreno elevado, ingresando la elevación del terreno dentro de las opciones para los receptores. El comando ERRORFIL identificó el nombre del archivo de errores a ser generado para la modelación fue el error.txt. Este archivo contiene los mensajes de errores ocurridos durante la modelación.

- **Opciones para Fuentes (SO):** Se manejan bajo la abreviatura SO y se incluye la ubicación del Relleno Sanitario, los parámetros de emisión y la forma de agrupación requerida. La ubicación de la fuente se ingresó precedida por la palabra clave LOCATION, el nombre de la fuente y su categoría POINT. Los parámetros de emisión se incluyeron bajo la palabra clave SRCPARAM y el nombre de la fuente. Los parámetros de emisión requeridos para este tipo de fuentes son: tasa de emisión en (g/s), altura de liberación en (m), temperatura de salida (K), velocidad de salida en (m/s) y el diámetro de la chimenea (m).

Al incluir el símbolo "***" al comienzo de una línea, se le indicó al modelo que esa línea debe ser ignorada. De esta forma se pudo incorporar información de referencia para un mejor entendimiento del archivo, como por ejemplo las unidades correspondientes a cada parámetro ingresado en la línea siguiente. En el (ANEXO D) se describen las características de cada una de las chimeneas identificadas como fuentes puntuales para la modelación.

- **Opciones para el Receptor (RE):** Los modelos ISC tienen una considerable flexibilidad en la especificación de la ubicación de los receptores. El usuario tiene la capacidad de especificar múltiples receptores para una iteración, pudiendo también mezclar un conjunto de receptores distribuidos en coordenadas cartesianas. Es también flexible en cuanto a la especificación del lugar donde se ubique el origen para receptores polares. El usuario puede ingresar las alturas de los receptores para modelar los efectos en terrenos de mayor o menor altura que la salida de la chimenea. La información requerida se ingresó bajo la abreviatura RE. En este caso, por tratarse de una grilla con coordenadas cartesianas, se utilizó la palabra clave GRIDCART. Luego, se indicó el nombre del conjunto de receptores (CAR1) y se estableció una red de receptores con cuadrículado de igual espaciado.

En la red de receptores se incluyeron los puntos definidos por coordenadas X (este-oeste) e Y (norte-sur). Para definir la cuadrícula se utilizaron las palabras claves XPNTS y YPNTS cuya línea en el archivo de datos será:

```
XPNTS -2000 -1500 -1000 -500 0 500 1000  
YPNTS -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500
```

La cuadrícula que genera el archivo es de 7x7 (siete puntos en el eje de las X y siete puntos en el eje de las Y que dan un total de 49 receptores), como se muestra en la Figura 10. Finalmente, como se seleccionó terreno complejo en las

opciones de control, se incluyeron la altura de cada receptor bajo la palabra clave secundaria ELEV y la fila de coordenadas Y que se está ingresando (cada altura). A continuación se aprecia la información correspondiente a las dos primeras filas.

ELEV 1 0. 0. 0. 0. -16. -16. -16.

ELEV 2 0. 0. 0. 0. -16. -16. -16.

- **Opciones para Meteorología (ME):** La información requerida se ingresó bajo la abreviatura ME. Los datos meteorológicos se integraron en un archivo separado al protocolo de entrada. El nombre del archivo se ingresó bajo la palabra clave INPUTFIL y de esta forma el modelo ISCST3 leyó la información directamente del archivo referenciado, en esta investigación el archivo es STAMTA.MET. Adicionalmente, se debe ingresar bajo las palabras clave ANEMHGHT, SURFDATA y UAIRDATA, se asoció la altura del anemómetro (la altura a la cual se recolectaron los datos de velocidad del viento), la información sobre la estación meteorológica superficial y la información de la estación atmosférica superior utilizada en la determinación de alturas de mezcla, respectivamente.

- **Opciones para los Datos de Salida (OU):** La presentación de datos de salida para el Short Term es:

Resumen de los valores máximos (valor más alto, segundo valor más alto, etc.) Se controla con la palabra clave RECTABLE y se debe especificar el promedio de tiempo a considerar PERIOD.

4.3.2.2 Archivo Meteorológico

Existen varios tipos de formatos para el ingreso de los datos meteorológicos en un archivo compatible al modelo. El usado en este caso, y que se describe continuación, es el .MET, cuya principal característica es la flexibilidad que presenta su uso.

Los archivos en formato .MET (en este ejemplo el archivo es STAMTA.MET) contienen registros horarios secuenciales de variables meteorológicas como se especifica en la Tabla 2.

4.3.2.3 Archivo de Salida

El Archivo de datos de salida (ANEXO D) repite en una primera parte, los datos de entrada al modelo. Luego describe todas las opciones utilizadas por el modelo para efectuar las estimaciones de concentración de contaminantes. La sección siguiente, encabezada por POINT SOURCE DATA, contiene los datos de emisión por fuente en los diferentes puntos de la grilla cartesiana. Posteriormente, se resume la topografía en las coordenadas del terreno para cada punto x, y. Esta topografía se entrega en forma tabulada en la cual las filas representan la elevación en metros para diferentes pares x, y (coordenadas). En seguida se despliega información meteorológica, tal como perfiles de viento, gradientes de temperatura y clases de estabilidad atmosférica.

La última sección encabezada por CONC OF CH4 entrega, como su nombre lo indica, las concentraciones de CH4 para cada una de las coordenadas x, y definidas anteriormente. Esta sección del archivo de datos es extensa e incluye, entre otras, concentraciones máximas, ubicación de los puntos de máxima concentración y fecha en que ocurre la concentración máxima. Este archivo de

datos puede ser representativo con la ayuda del programa surfer V.8, obteniéndose curvas de isoconcentración.

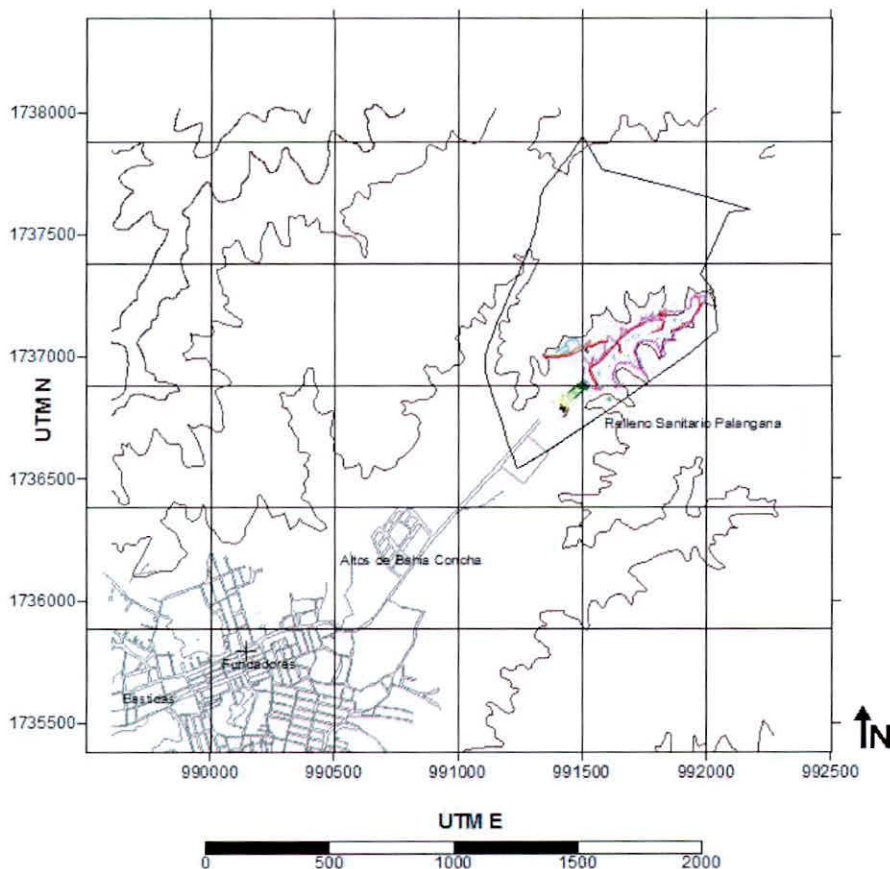


Figura 10. Cuadrícula de Receptores para el modelo ISCST3

4.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO ISCST3

Para la calibración del modelo se procedió a comparar el valor obtenido por el modelo para un punto de muestreo determinado, con los datos obtenidos en campo en ese mismo punto. Partiendo de la diferencia de estos valores se da a conocer si el modelo se encuentra calibrado. La metodología de calibración del modelo se estableció partiendo de la realizada por Hurtado y Vergara en su investigación mediante la aplicación del modelo ISCST3 en el año 2007.

4.4.1 *Medición De Valor De Concentración De Metano En Un Punto Receptor*

Localización de Punto de Muestreo: En el desarrollo del trabajo se determinó un punto de referencia como receptor para realizar la medición de la concentración de CH₄. Este punto receptor se ubicó en la urbanización Altos de Bahía Concha, específicamente dentro de la casa No 2. Se determinó este punto receptor por su ubicación, ya que es el asentamiento urbano más cercano al relleno sanitario. En la Figura 11 se puede observar el punto de muestreo donde se realizaron las mediciones de concentración de CH₄.



Figura 11. Punto de muestreo en la Urbanización Altos de Bahía Concha

El equipo que se implementó para la medición de la concentración del CH₄ en el punto receptor fue el EXPLOSIMETRE FLAMMABLE GAS DETECTOR type EX 2000 Marca ENMET Corporation, comúnmente llamado Explosímetro EX 2000 ó MX 200, instrumento portátil que permite la lectura directa de la concentración de gases explosivos.

Ubicación: El equipo se ubicó en un recinto cerrado con ventilación proveniente del Relleno Sanitario, aproximadamente a una altura de 1.20m sobre el nivel del piso.

Criterios Operacionales: El Explosímetro EX 2000 está diseñado para facilitar su uso, tiene pantalla de LCD con luz. Al ponerse en funcionamiento la pantalla presenta toda la información necesaria mediante símbolos para facilitar la comprensión intuitiva de las funciones. Funciona con baterías y es de medición directa. El rango de operación del equipo para el CH₄ es de 0-100 LEL, que por su avanzada tecnología, permite reducir el consumo y evitar su envenenamiento por presencia de venenos catalíticos u otros contaminantes. En la Figura 12 se observa el explosímetro utilizado en el punto de muestreo para medir las concentraciones de CH₄.



Figura 12. Explosímetro EX 2000 ó MX 2000 utilizado

Los valores obtenidos en %LEL se convirtieron a $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ya que el modelo ISCST3 entrega los datos en estas unidades. La conversión se realizó mediante la relación que estipula el manual del usuario del equipo EX 2000, la cual establece que un rango 0-100 %LEL equivale a un rango de 0-1.000.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Seguridad del Equipo: Para obtener una adecuada medición se debe ubicar el equipo al nivel de la cintura del investigador y la toma de muestra debe ser

continúa durante el tiempo de muestreo. En la Figura 13 se observa como se realizó la toma de muestras por parte de los investigadores.



Figura 13. Mediciones de campo con el Explosímetro EX 2000

4.4.2 *Periodo de Observación*

La concentración de CH_4 en el punto receptor determinado, se hizo durante un periodo de 24 horas, se tomó el valor que arroja el Explosímetro EX 200 cada 15 minutos. Se determinó un día de muestreo ya que la utilización de modelos que utilizan la pluma de Gauus es ideal su aplicación en periodos de tiempo cortos que no representen cambios significativos en las condiciones atmosféricas como lo expuso Vicent en su publicación *Dispersión de contaminantes en la atmosfera*.

4.5 *DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS QUE SE VEN INFLUENCIADAS DIRECTA E INDIRECTAMENTE POR LAS EMISIONES DE METANO A LA ATMÓSFERA*

Para determinar las zonas de influencia afectada tanto directa e indirectamente por las emisiones de CH_4 proveniente del RSP se procedió a analizar las variables meteorológicas de velocidad y dirección del viento durante el año 2008. Se

tuvieron en cuenta los valores máximos como puntos de referencia en cada una de las ocho direcciones de viento utilizadas Norte(N), Noreste (NE), Este (E), Sureste (SE), Sur (S), Suroeste (SW), Oeste (W) y Noroeste (NW). El número de datos analizados en cada una de las direcciones se registra en la Tabla 9.

Tabla 9. Numero de datos analizados en cada una de las direcciones del viento

Dirección	Datos
Norte(N)	2332
Noreste (NE)	1421
Este (E)	624
Sureste (SE)	746
Sur (S)	1022
Suroeste (SW)	1063
Oeste (W)	701
Noroeste (NW)	863

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

El criterio que se tuvo en cuenta para establecer las áreas de influencia tanto directa como indirecta, fueron las concentraciones superficiales en el área de estudio. Se consideró que la ubicación de las mayores concentraciones de CH₄ en el espacio representó la zona de influencia directa. Por el contrario las zonas restantes donde la concentración de CH₄ es mínima, fueron consideradas zonas de influencia indirecta.

4.6 VERIFICACIÓN DE LÍMITES DE SEGURIDAD DE METANO EN EL AIRE

Para efectos de evaluar el cumplimiento del límite de metano en el aire, inicialmente se calculará la concentración límite, que, de acuerdo al criterio

establecido en el proyecto de Reglamento de Rellenos Sanitarios, esto es, un 1,25% de de concentración en volumen de metano en el aire.

Posteriormente con el resultado de las concentraciones ambientales utilizando el modelo ISCT3 se verificó el cumplimiento de este criterio en todos los receptores de interés.

4.6.1 *Cálculo del Límite de Concentración de Metano en el Aire*

En términos de concentración atmosférica en ppmv, el límite inferior de explosividad de concentración porcentual en volumen de metano en el aire de 1,25%. Equivale a 12.500 ppmv (a 25°C y 1 atm de presión), que calculado en concentración másicas en mg/m³, equivale a:

$$C_{CH_4} \left[\frac{mg}{m^3} \right] = C_{CH_4} [ppmv] \times \frac{16,043}{0,082 \times (273 + T^\circ [^\circ C])} \quad (8), \text{ donde,}$$

C_{CH_4} = Concentración de metano en el aire

T° = Temperatura ambiental

La temperatura ambiental promedio en el periodo de estudio correspondió a 29 °C (ver Tabla 3). Esto permite obtener el valor límite de concentración de metano en el aire en (mg/m³).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CAUDAL DEL BIOGÁS

Los resultados de caudal del biogás (media y varianza) obtenidos en los muestreos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Media y varianza de los resultados mensuales obtenidos de la medición del biogás (m^3/min)

Meses	Nivel 1y2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
Abril	0,03	0,47	0,59	0,57	0,57	0,47
Mayo	0,64	0,94	2,01	0,49	1,81	1,58
Junio	0,42	0,26	0,44	0,28	0,37	0,86
Media	0,36	0,56	1,01	0,45	0,91	0,97
Varianza	0,0954	0,1212	0,7506	0,0224	0,6058	0,3171

Fuente: Investigadores

La Figura 14 muestra la producción promedio del biogás durante el tiempo de muestreo. En el nivel 1 y 2, 3 y 5 se encontraron los caudales promedio más pequeños y correspondientes a 0,36, 0,56, 0,45 m^3/min respectivamente. Los máximos caudales se encuentran en los niveles 6, 7 y 4, con valores promedios de 0,91, 0,97 y 1,01 m^3/min respectivamente. Los resultados concuerdan con lo esperado debido a que la mayor cantidad de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario Palangana (RSP) se encuentran en los niveles 6, 7 y 4, debido a esto los mayores caudales de emisión del biogás deben presentarse en estas zonas. Por otra parte los caudales menores se encuentran en las zonas donde hay dispuesta la menor cantidad de residuos sólidos. Los datos son consistentes ya que

muestra su comportamiento partiendo de la cantidad de residuos que se encuentran en cada uno de los niveles.

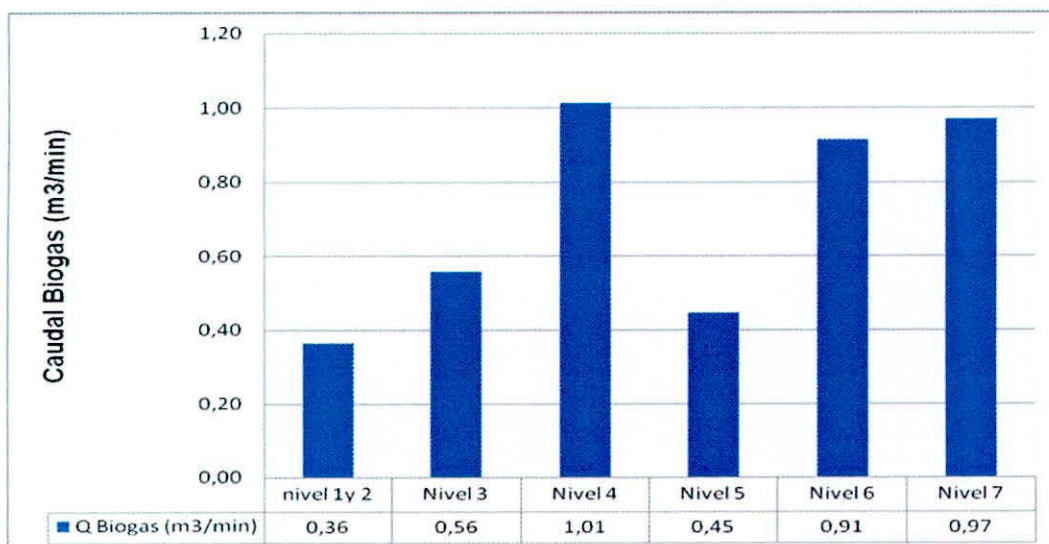


Figura 14. Caudal promedio de biogás (m^3/min) durante el tiempo de muestreo

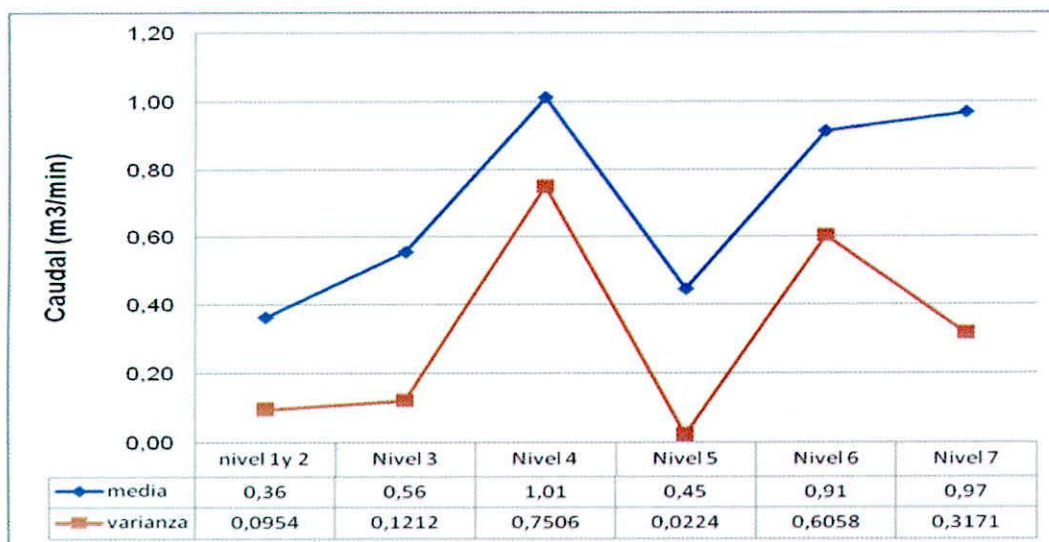


Figura 15. Varianza Vs valor promedio de caudal de Biogás (m^3/min)

En la Figura 15 se puede observar la varianza en cada uno de los puntos de muestreos y compararlas con los valores medios obtenidos. Los valores de

varianzas son menores a los promedios obtenidos, lo que nos indica que los valores que se obtuvieron en cada monitoreo guardan relación entre si y solo cambian en valores pequeños, lo que hace que sean certeros y confiables. Estudios realizados en otros rellenos sanitarios permitieron comparar los datos de caudal generado, en la Tabla 11 se registraran los valores obtenidos.

Tabla 11. Biogás generados por la disposición final en Rellenos Sanitarios de Colombia

Relleno Sanitario	Navarro (S. Cali)	Rodas (Medellín)	Palangana (Santa Marta)
Año de Apertura	1967	1985	2002
T. funcionamiento	42	24	7
Cantidad de RS por mes (t/mes) ⁵	27925	25138	6263
Emisión promedio (m ³ /mes) ⁶	3.837.960	3.158.250	1.379.808
Generación biogás (m ³ /ton)	137,4	125,6	220,3
Temperatura media (°C)	23,8	22	28

Fuente: Investigadores

Los valores de emisión muestran una relación bastante marcada entre cada Relleno Sanitario y la generación de biogás por tonelada de basura. Las condiciones climáticas en donde se encuentra ubicado cada uno de los rellenos sanitarios y la cantidad de materia orgánica dispuesta son factores determinantes para establecer este criterio. El Relleno Sanitario que emite la mayor cantidad de

⁵ REGULACION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO – Abril de 2007

⁶ Estudios de emisiones realizados en los Rellenos Sanitarios Navarro y Rodas (ver Bibliografía)

biogás es el de Navarro en la ciudad de Santiago de Cali. Palangana muestra una emisión menor respecto a los demás por ser un relleno sanitario joven y con poco material dispuesto, sin embargo las condiciones climatológicas del Relleno Sanitario hacen que en este la generación de Biogás sea mucho mayor por tonelada de basura dispuesta ya que la temperatura juega un papel importante dentro del proceso de degradación de la materia orgánica como lo expuso Velázquez en el 2005, para el caso de Palangana se supone que es mayor por ser este Relleno exclusivamente para la recepción de residuos domésticos a diferencia de Navarro en Santiago de Cali y Rodas en la ciudad de Medellín.

5.2 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS GENERADO

Conforme a los valores obtenidos en las determinaciones de composición del biogás en el RSP correspondientes a los meses de abril y junio mostrados en la Tabla 12, se presentan los datos promedios de la composición del biogás proveniente del Relleno Sanitario.

Tabla 12. Análisis de composición del Biogás

<i>P.Muestreo</i>	<i>CH₄</i> <i>(ppm)</i>	<i>CO₂</i> <i>(%V/ V)</i>	<i>O₂</i> <i>(%V/ V)</i>	<i>H₂S</i> <i>(ppm)</i>
Nivel 1y2	937500	1,05	8,80	0,05
Nivel 3	1000000	1,65	7,40	1,70
Nivel 4	1000000	1,80	7,35	0,35
Nivel 5	1000000	0,95	6,35	0,25
Nivel 6	1000000	1,25	7,33	0,15
Nivel 7	1000000	1,80	7,20	0,15

Fuente: Investigadores

En la Figura 16, Figura 17, Figura 18 y Figura 19 se muestra gráficamente la concentración de CH₄, CO₂, O₂, y H₂S.

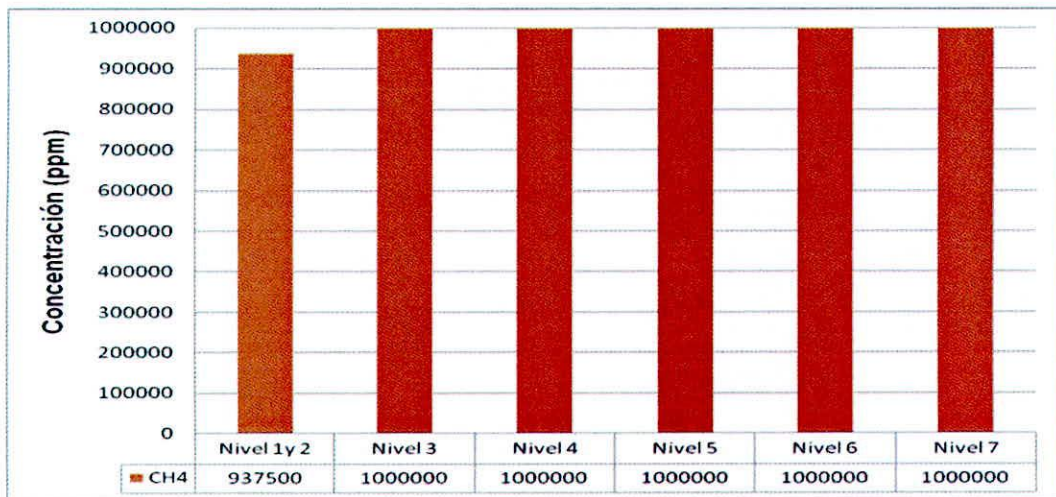


Figura 16. Concentración promedio de CH₄ por niveles

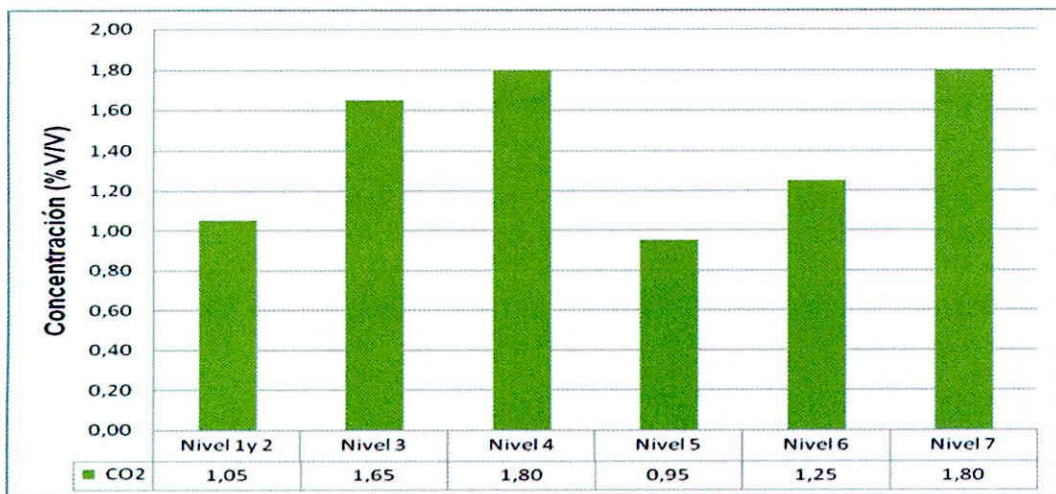


Figura 17. Concentración promedio de CO₂ por niveles



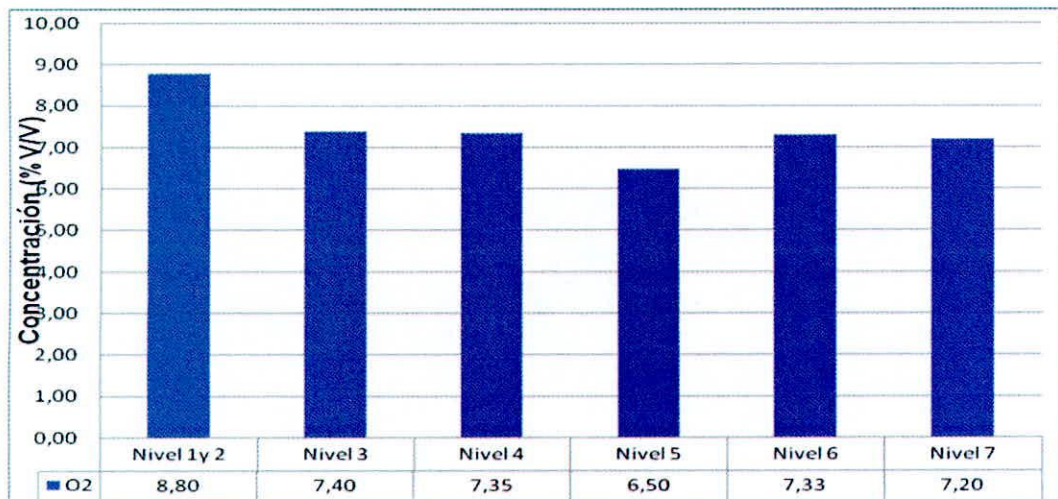


Figura 18. Concentración promedio de O₂ por niveles

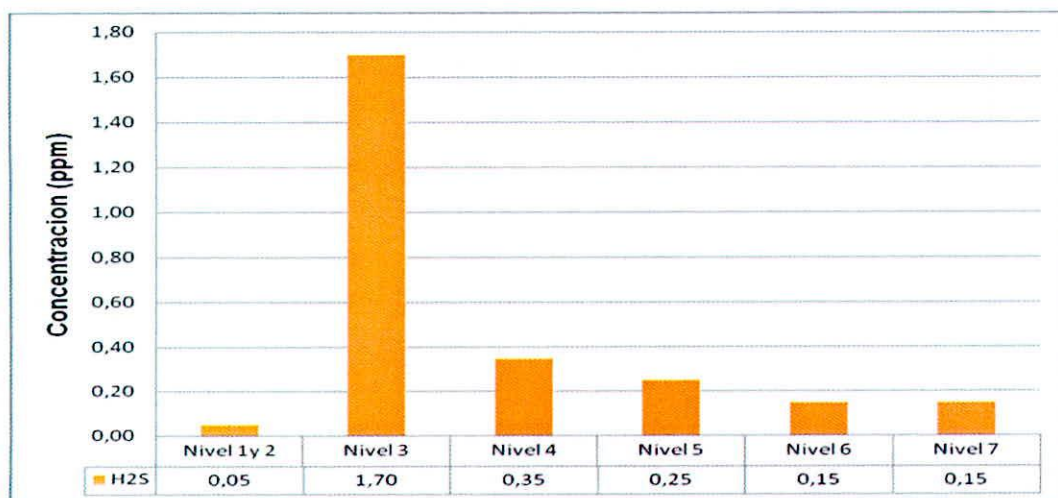


Figura 19. Concentración promedio de H₂S por niveles

En la Tabla 13 se muestra resultados obtenidos de los muestreos de concentración realizados en los meses de abril y junio.

Tabla 13. Resultados de las concentraciones de CH₄, CO₂, O₂, y H₂S tomadas en campo.

Resultados		Nivel 1 y 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
CH₄	Abril	100	100	100	100	100	100
	Junio	88	100	100	100	100	100
	Suma	188	200	200	200	200	200
	Valor medio, \bar{x}_k	94,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	n_k	2	2	2	2	2	2
	Media aritmética de todos los resultados, $\bar{x} = 4,2$ Número total de resultados, $N = 28$						
Resultados		Nivel 1 y 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
CO₂	Abril	1,2	2,1	1,7	0,1	1,05	1,6
	Junio	0,9	1,2	1,9	1,8	1,45	2
	Suma	2,1	3,3	3,6	1,9	2,5	3,6
	Valor medio, \bar{x}_k	1,05	1,65	1,80	0,95	1,25	1,80
	n_k	2	2	2	2	2	2
	Media aritmética de todos los resultados, $\bar{x} = 1,42$ Número total de resultados, $N = 12$						
Resultados		Nivel 1 y 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
O₂	Abril	17,1	14,6	14,5	12,9	14,45	14,1
	Junio	0,5	0,2	0,2	0,1	0,20	0,3
	Suma	17,6	14,8	14,7	13	14,65	14,4
	Valor medio, \bar{x}_k	8,80	7,40	7,35	6,50	7,33	7,20
	n_k	2	2	2	2	2	2
	Media aritmética de todos los resultados, $\bar{x} = 7,43$ Número total de resultados, $N = 12$						
Resultados		Nivel 1 y 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
H₂S	Abril	0	1,8	0	0	0	0
	Junio	0,1	1,6	0,7	0,5	0,30	0,3

Suma	0,1	3,4	0,7	0,5	0,3	0,3
Valor medio, \bar{x}_k	0,05	1,70	0,35	0,25	0,15	0,15
n_k	2	2	2	2	2	2
Media aritmética de todos los resultados, $\bar{\bar{x}} = 0,42$						
Número total de resultados, $N = 12$						

Fuente: Elaboración propia en base a los informes de INSPECTORATE.

El análisis típico de la varianza ANOVA obtenida de los resultados de la medición de concentraciones de los gases estudiados en campo, se muestra en la Tabla 14

Tabla 14. Tabla ANOVA para los resultados obtenido de la concentración de los gases

Fuente		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Fcal	Ftab
CH₄	Entre nivel	60	5	12		
	Entre medición	72	7	10,3	1,17	3,97
	Total	132	11	12		
CO₂	Entre nivel	1,46	5	0,29		
	Entre medición	2,08	7	0,30	0,98	3,97
	Total	3,53	11	0,32		
O₂	Entre nivel	5,63	5	1,13		
	Entre medición	622,38	7	88,91	0,01	3,97
	Total	651,7	11	59,25		
H₂S	Entre nivel	3,90	5	0,78		
	Entre medición	0,49	7	0,07	11,27	3,97
	Total	4,4	11	0,40		

Elaboración propia en base a los informes de INSPECTORATE.

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la concentración promedio de CH_4 de las chimeneas de cada nivel en el RSP. El comportamiento no es variable, en casi todos los niveles el valor promedio de concentración es de 1.000.000ppm lo que nos indica que las emisiones contienen altas concentraciones de CH_4 en todos los niveles del RSP. El resultado de concentración promedio de CH_4 permite inferir que en todos los niveles el mayor contenido de materia orgánica se encuentra en la tercera fase descomposición, la cual se lleva a cabo mediante un proceso anaerobio lo que permite la producción de CH_4 . Concordando así, con lo establecido por Velázquez en su investigación diseño de una red de captación y quemado de biogás para el Relleno Sanitario COIPUE, en Temuco Chile, que define el concepto de generación de gases en rellenos sanitarios por el cual se estableció el anterior análisis. Por ultimo, El análisis de varianza ANOVA para las concentraciones de CH_4 que se observa en la Tabla 14, permite establecer que los resultados no difieren de forma estadísticamente significativa entre cada uno de los niveles, lo cual quiere decir que los resultados obtenidos en cada nivel son similares entre si.

En la Figura 17 se observa que las mayores concentraciones de CO_2 se presentan en los niveles 3, 4 y 7, con valores de 1,65 y 1,80%V/V, mientras que los niveles 1 y 2, 5 y 6 las concentraciones de CO_2 son de 1,05, 0,95, y 1,25%V/V respectivamente. De lo anterior se deduce que en los niveles 3 y 4 donde se presentan las mayores concentraciones se debe a la existencia de chimeneas con quemadores de gases que contribuyen a la generación de este gas. Sin embargo, en el nivel 7 a pesar que no cuenta con quemadores, gran parte de materia orgánica de este nivel se encuentra en la primera fase de generación de gases, debido que en ese nivel en el periodo de estudio se encontraban disponiendo residuos sólidos, afirmando así lo publicado por Velázquez, que define que en la primera fase de generación de gases en un relleno sanitario es aeróbica, es decir en presencia de oxígeno contenido en los diferentes residuos que se disponen en el relleno, permitiendo la formación de CO_2 , agua, materia parcialmente

descompuesta y energía, a una temperatura aproximada entre 35 °C y 40 °C. Los resultados del análisis de varianza ANOVA para las concentraciones de CO₂ no difieren de forma estadísticamente significativa entre los niveles, lo cual quiere decir que los resultados obtenidos en cada nivel no arroja ninguna discrepancia entre si.

En la Figura 18 se observan los valores promedios de concentración de O₂ por niveles dentro del RSP. El nivel 1 y 2, presenta la mayor concentración de este gas, con un valor de 8,80(%V/V), una posible causa de este comportamiento puede ser la ubicación de este nivel, ya que se encuentran en el inicio del área de disposición de los residuos sólidos, permitiendo así tener mayor corriente de aire, al igual que se encuentran en zonas donde abunda mayor vegetación. El análisis de varianza ANOVA para las concentraciones de O₂ que se observa en la Tabla 14, permite establecer que los resultados no difieren de forma estadísticamente significativa entre cada uno de los niveles, lo cual quiere decir que los resultados obtenidos en cada nivel son similares entre si. Sin embargo, al observar la varianza resultante entre cada una de las mediciones realizadas en la Tabla 13 se observa que esta tiene un valor muy alto. Como se presento este caso, las mediciones de O₂ realizada cada uno de los meses difieren de forma estadística del resto de las mediciones de gases, esto puede ser resultado de un error de medición realizado por la empresa INSPECTORATE.

La variación de la concentración promedio de H₂S por niveles se muestra en la Figura 19. La concentración mayor de este gas se obtiene en el nivel 3 con un valor promedio de 1,70ppm, en este punto se observa un incremento superior al compararlo con los diferentes puntos de muestreo, lo que nos hace suponer que la discrepancia se debió a un error en la medición, aunque este continúe siendo un valor mínimo teniendo en cuenta la cantidad de gas generado. Con respecto a los resultados obtenidos de este gas no se encontró antecedentes que permitiera definir la causa de este resultado en el nivel 3. Por ultimo, con el análisis de

varianza ANOVA se concluye que los resultados difieren de forma estadísticamente significativa entre los niveles, lo cual quiere decir que alguno de los niveles el resultado no concuerda con los demás. Afirmando así que el nivel 3 si tiene una discrepancia alta frente a los demás.

5.3 ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METANO EN EL AIRE

5.3.1 *Calculo de la Tasa de Emisión de Metano (CH₄)*

La Tabla 15 presenta la determinación de la tasa de emisión promedio de CH₄ asociado con el Relleno Sanitario Palangana. En la Figura 20 se grafica el perfil de emisión promedio de CH₄ por nivel. El nivel que presenta mayor emisión de CH₄ es el nivel 6, ya que posee un número significativo de chimeneas, en comparación con los otros niveles.

Tabla 15. Emisión promedio de CH₄ por chimenea en cada nivel

<i>Emisión</i>	<i>Nivel 1y2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Nivel 4</i>	<i>Nivel 5</i>	<i>Nivel 6</i>	<i>Nivel 7</i>
<i>Promedio(m³/min)</i>	0,36	0,56	1,01	0,45	0,91	0,97
<i>Promedio(g/s)</i>	5,80	8,89	16,18	7,13	13,57	15,49

Fuente: Investigadores

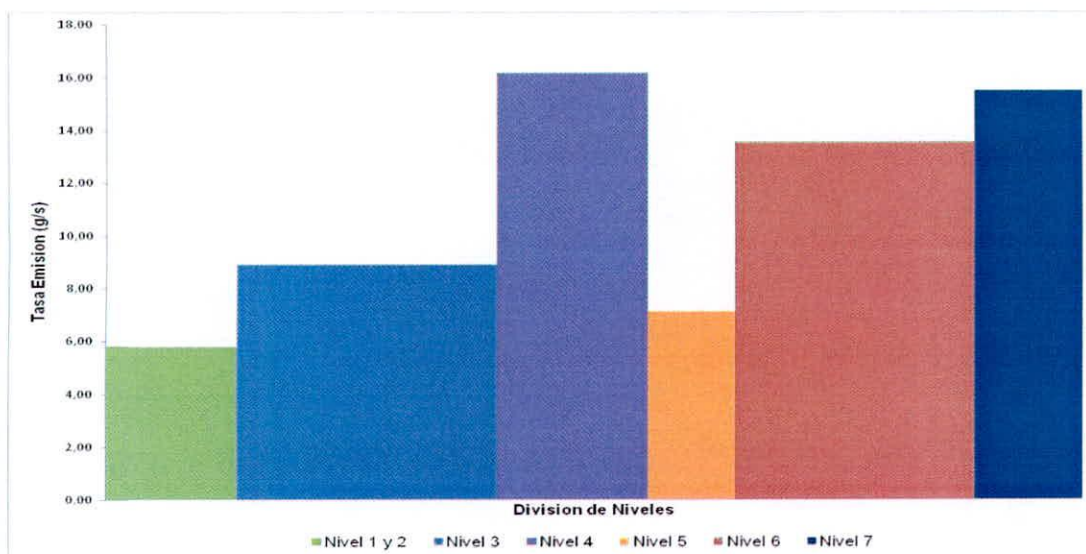


Figura 20. Perfil de emisión promedio de CH₄ en cada nivel

Es importante resaltar que a pesar de que este nivel presenta la mayor emisión de CH₄, los controles que toma el RSP para este tipo de gas no superan en 50% su cobertura, al tener solo 5 quemadores instalados en las 11 chimeneas que presenta en total, como se presenta en la Tabla 7. Este mismo hecho se presenta en los niveles 5 y 7. Llamando la atención que el nivel 7 no tiene ninguna de estas estructuras para el control de las emisiones de CH₄.

5.3.2 *Velocidad De Salida Del CH₄*

Los resultados del cálculo de la velocidad salida del CH₄ promedio por nivel se presentan en la Tabla 16. Los resultados detallados por chimeneas se presentan en el ANEXO B.

Tabla 16. Velocidad de salida promedio de CH₄ en cada nivel

<i>Velocidad</i>	<i>Nivel 1y2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Nivel 4</i>	<i>Nivel 5</i>	<i>Nivel 6</i>	<i>Nivel 7</i>
<i>Promedio(m/s)</i>	0,15	0,19	0,35	0,17	0,35	0,46

Fuente: Investigadores

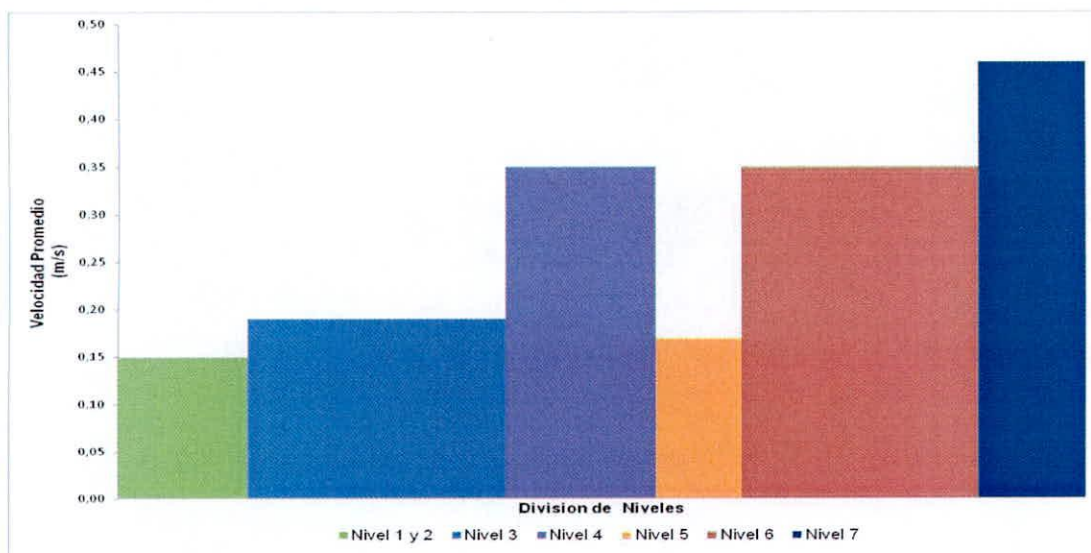


Figura 21. Perfil de velocidad salida de CH₄ promedio

La Figura 21 se representa la variación de la velocidad para cada uno de los niveles, este comportamiento muestra relación con el que se presentó en la Figura 20. Los valores máximos de velocidad se presentan en los niveles 7, 6 y 4. Cabe resaltar que la suma de las chimeneas que estos niveles representan supera el 50% de las chimeneas total del RSP y que de estas, en los niveles 7 y 6 los controles de emisión de CH₄ no son suficientes, al encontrarse por ejemplo que el nivel 7 las chimeneas no tenían instalado ningún quemador de gases.

5.4 SIMULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CH₄ EN LOS PUNTOS RECEPTORES

La concentración de CH₄ obtenida al implementar el modelo ISCST3 para los puntos receptores durante el periodo de modelación se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Concentración promedio de CH₄ del periodo de estudio arrojadas por el modelo ISCST3 en los puntos receptores

X	Y	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X	Y	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
-2000	-1500	56,19468	0	0	6,66257
-1500	-1500	208,24403	500	0	32,91862
-1000	-1500	74,47977	1000	0	112,35011
-500	-1500	0,57652	-2000	500	94,37898
0	-1500	203,88719	-1500	500	94,46128
500	-1500	159,99458	-1000	500	44,74332
1000	-1500	3,24078	-500	500	71,40479
-2000	-1000	1,18427	0	500	935,31854
-1500	-1000	38,76199	500	500	2274,43701
-1000	-1000	314,56754	1000	500	1,43073
-500	-1000	34,57581	-2000	1000	0
0	-1000	158,77432	-1500	1000	0
500	-1000	119,51097	-1000	1000	209,00356
1000	-1000	75,20325	-500	1000	604,61157
-2000	-500	2,20112	0	1000	256,28076
-1500	-500	0,28063	500	1000	69,33174
-1000	-500	7,88857	1000	1000	717,71759
-500	-500	385,26523	-2000	1500	38,58604
0	-500	22,2253	-1500	1500	178,1344
500	-500	58,78576	-1000	1500	319,69431
1000	-500	198,99454	-500	1500	115,99525
-2000	0	167,90141	0	1500	595,71661
-1500	0	271,66037	500	1500	264,3288
-1000	0	202,34686	1000	1500	27,01293
-500	0	20,55057	--	--	--

Fuente: Resultado de la simulación del Modelo ISCST3

La concentración de CH₄ para el periodo de estudio simulado muestra que de los 49 receptores el máximo valor de concentración es de 2274,43701µg/m³, que se encuentra en la coordenada (500,500).

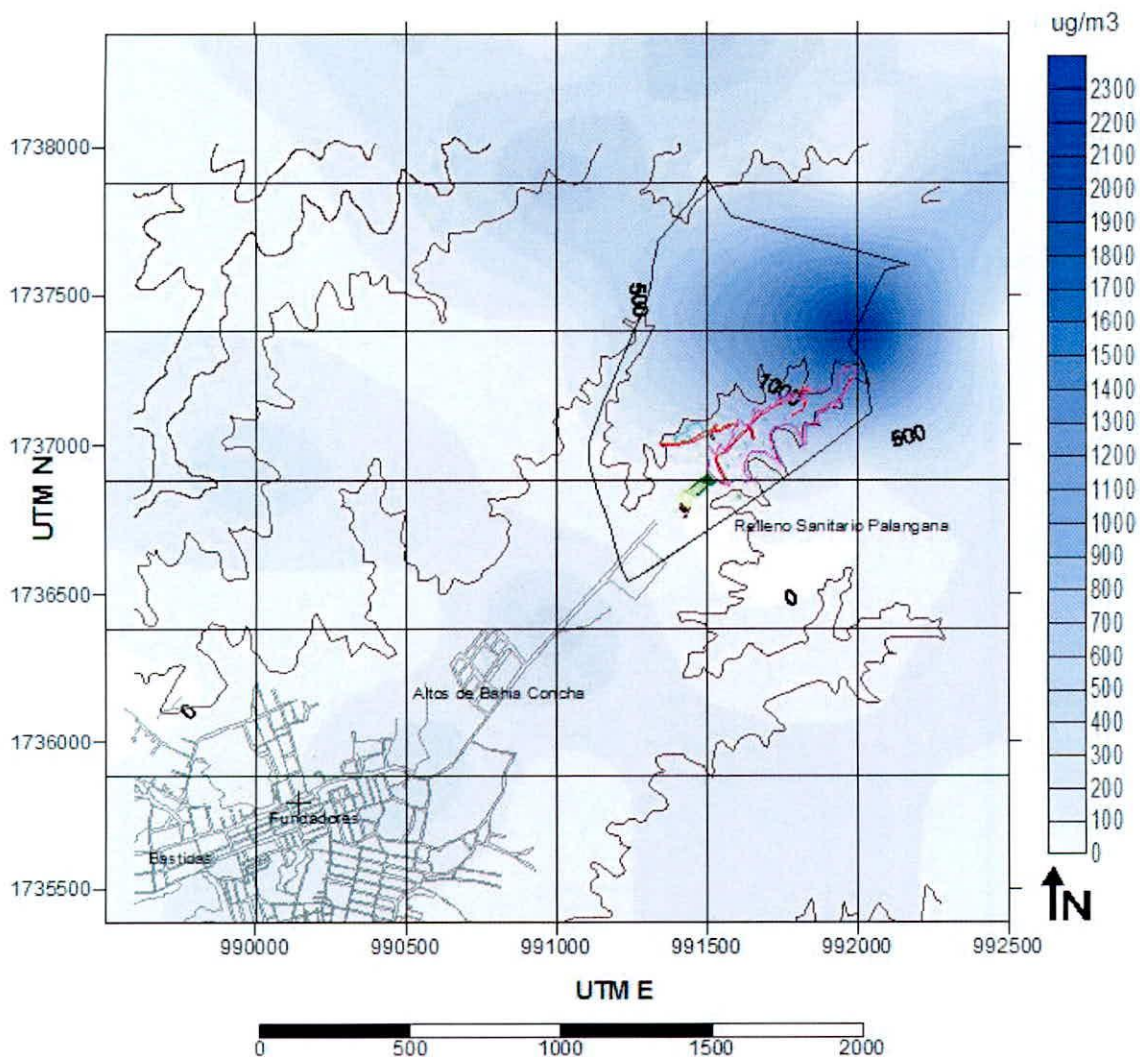


Figura 22. Isoplethas de concentración de CH₄ por fuente puntual agrupada correspondiente al Relleno Sanitario de Palangana durante el periodo de estudio

La dispersión del contaminante se representa la Figura 22 mediante isoplethas de concentración. De acuerdo con el resultado la emisión de CH₄ esta dirigida hacia

las montañas que se encuentran en dirección este y noreste, así mismo, dentro del área de operación del Relleno Sanitario. Las concentraciones máximas no alcanzan a afectar áreas pobladas de la ciudad de Santa Marta por lo que no representa ningún riesgo para la salud ni seguridad de los pobladores de las mismas. Vigneault estableció que el CH₄ es más liviano que el aire, por tal motivo el tiende a ascender de manera rápida, lo que permite que la dispersión del gas sea congruente con la definición de los modelos Gaussiano por Bustos.

Estudios de dispersión de CH₄ mediante la implementación del modelo ISCST3 se han realizado en el Relleno Sanitario Santa Marta de la ciudad de Santiago de Chile. Este relleno sanitario, inicio sus operaciones en el año 1998, esta diseñado para una vida útil de 20 años y una capacidad de recibir residuos sólidos de 60.000ton/mes (M&A, 2005). Los resultados obtenidos en este estudio se observan en la Figura 23.

**Concentraciones Máximas Horarias de Metano del Relleno
Santa Marta - Modelación de Junio de 2004**

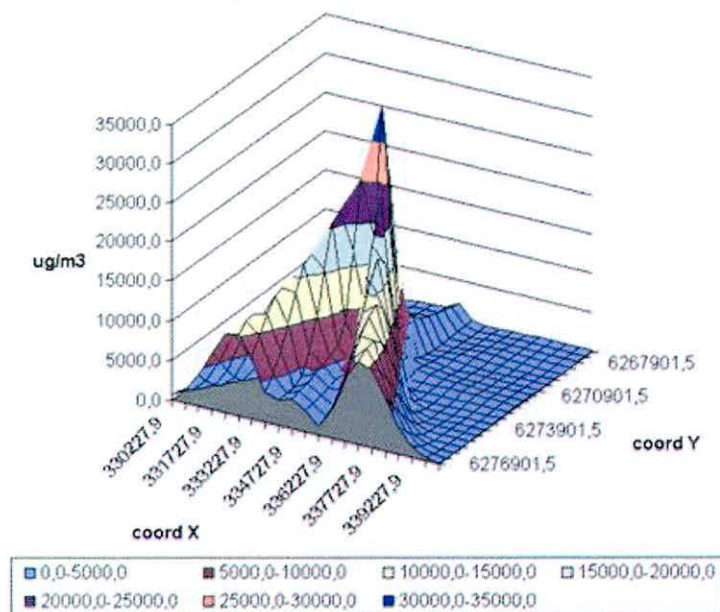


Figura 23. Resultados de dispersión de Metano Obtenido en el Relleno Sanitario de Santa Marta de Chile.

El Relleno Sanitario Santa Marta de las ciudad Santiago de Chile Cuenta con 296 hectáreas, de las cuales 77 están destinadas a la disposición final de residuos sólidos domiciliarios y/o asimilables. Actualmente recibe alrededor de 1/3 de los residuos generados en la Región Metropolitana. El método de disposición, consiste en excavación progresiva y celdas en superficie, aprovechando la topografía natural del terreno hasta completar su vida útil.

El comportamiento de dispersión es parecido al obtenido en el Relleno Sanitario Palangana. Las concentraciones más elevadas se producen en la superficie del Relleno Sanitario, disipándose rápidamente en sus bordes y tendiendo a cero en el área circundante del relleno. La relación existente nos permite deducir que las emisiones de CH₄ en altas concentraciones no se propagan a grandes distancias, lo que hace manejable y controlable el gas dentro de las mismas estructuras de disposición final de residuos sólidos.

5.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Los valores promedios horarios obtenidos en campo en el punto de muestreo se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Valores promedios horarios de concentración de CH₄

Hora	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Con (%LEL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hora	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00
Con (%LEL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Investigadores



La concentración detectada por el explosímetro MX-2100 arrojan un resultado promedio de 0%LEL, lo que nos indica que en el punto de muestreo las concentraciones se encuentran en un rango de 0-10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El valor de concentración de CH_4 promedio por un día, obtenido por el modelo ISCST3 en el punto receptor (-612,-602) es de 5071,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Equivalente a 0,005%LEL. Al observar la relación que se presentan en cada uno de los métodos de evaluación de concentración de CH_4 , se observa que muestra una discrepancia mínima al momento de compararse y que tanto el modelo como los datos recogidos muestran una correlación entre si, lo que nos permite deducir que el modelo se encuentra calibrado y los resultados que arrojan se ajustan a la realidad.

El modelo arroja un valor mas preciso debido a que este procesa la información de campo y matemáticamente establece el resultado mientras que el equipo implementado no determina la concentración por encontrarse un lumbral muy pequeño de concentración. En la Tabla 19 se observa los valores promedios de concentración de CH_4 obtenidos el día de la modelación por parte del modelo ISCST3.

Tabla 19. Concentración promedio de CH_4 del periodo de muestreo arrojadas por el modelo ISCST3 en los puntos receptores

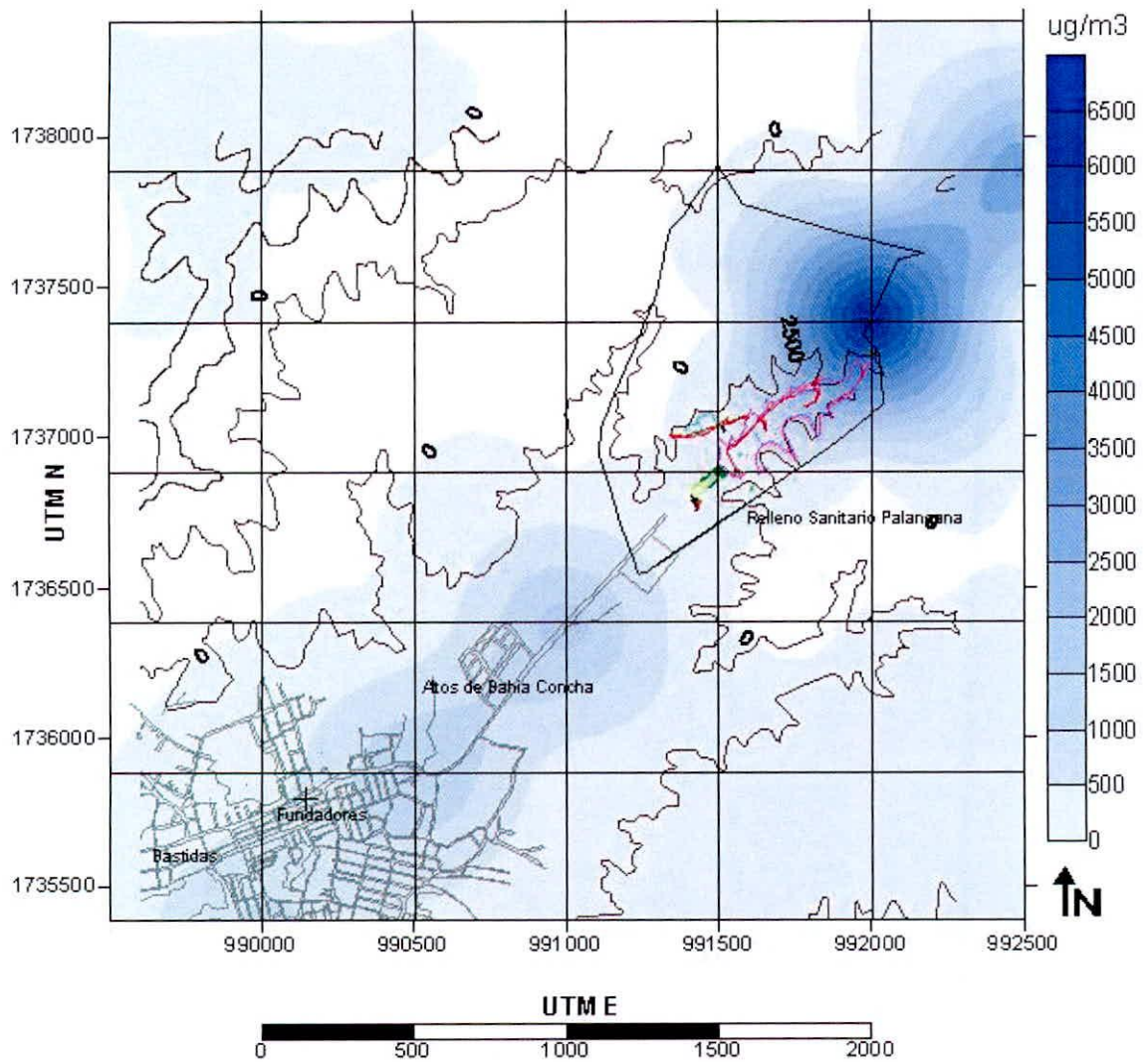
X	Y	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X	Y	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
-2000	-1500	475,771	0	0	2028,28
-1500	-1500	1700,16	500	0	0,861
-1000	-1500	628,761	1000	0	22,3076
-500	-1500	3,46349	-2000	500	0
0	-1500	0	-1500	500	0
500	-1500	0,00002	-1000	500	0

1000	-1500	2,81412	-500	500	0
-2000	-1000	9,26648	0	500	0
-1500	-1000	294,988	500	500	8875,66
-1000	-1000	2380,89	1000	500	2,96895
-500	-1000	307,27	-2000	1000	0
0	-1000	0,00671	-1500	1000	0
500	-1000	0,04408	-1000	1000	0
1000	-1000	73,8992	-500	1000	0
-2000	-500	0,00105	0	1000	0
-1500	-500	0,20197	500	1000	1,75706
-1000	-500	54,4983	1000	1000	2526,74
-500	-500	3360,53	-2000	1500	0
0	-500	18,3272	-1500	1500	0
500	-500	22,7892	-1000	1500	0
1000	-500	118,006	-500	1500	0
-2000	0	0	0	1500	0
-1500	0	0	500	1500	0,0007
-1000	0	0	1000	1500	90,5996
-500	0	0,03142	--	--	--

Fuente: Resultado de la simulación del Modelo ISCST3

La dispersión del contaminante durante el día de muestreo se representa mediante isopletas de concentración en la 0. De acuerdo con el resultado de la dispersión de CH₄ se observa que durante el día hay presencia de concentraciones en la comunidad aledaña al RSP. El gráfico de dispersión muestra que se genera un corredor entre el valle que forman las montañas, sirviendo este como canalizador de las emisiones y dirigiéndolas hacia la comunidad donde se encuentran concentraciones bajas del gas estudiado. Las

concentraciones más altas durante un día de trabajo vuelven a presentarse en zonas de influencia directa, específicamente en el área operación del RSP.



Isoplethas de concentración de CH₄ durante el día de muestreo

5.6 DETERMINACIÓN DE ÁREAS QUE SE VEN INFLUENCIADAS POR LA EMISIÓN DE METANO

Los valores máximos de velocidad en cada una de las direcciones de vientos se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. valores máximos y promedios de velocidad del viento teniendo en cuenta la dirección

Dirección	Velocidad (m/s)	
	Máximo	Promedio
Norte(N)	9,7	6,9
Noreste (NE)	8,5	2,0
Este (E)	7,1	1,3
Sureste (SE)	7,2	1,8
Sur (S)	9,4	3,5
Suroeste (SW)	7,1	2,2
Oeste (W)	5,6	2,4
Noroeste (NW)	8,9	4,4

Fuente: Elaboración propia en base a datos estación IDEAM – Santa Marta

El valor máximo de velocidad se presentó en la dirección Norte (N) con un valor de 9,7m/s, del mismo modo en esta dirección se encontró el promedio mas alto de velocidad con un valor de 6,9m/s. Por el contrario el valor promedio mas bajo se encontró en la dirección Este (E). El valor máximo más bajo encontrado en la información registrada se presentó en la dirección Oeste(O). La dispersión de metano teniendo en cuenta cada una de las direcciones del viento se representa en la Figura 24.

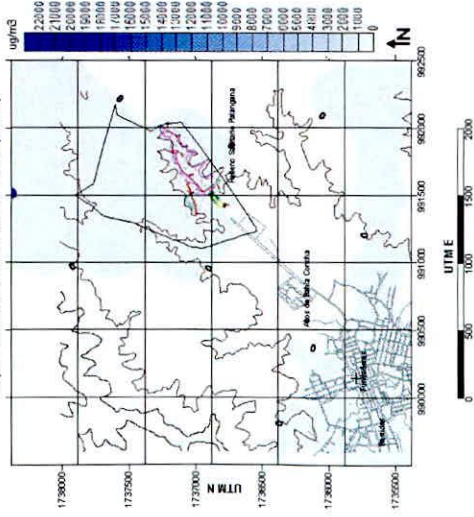
En la dirección Norte (N) se observó que la concentración de CH₄ no alcanzó concentraciones considerables teniendo en cuenta el área total de estudio. La concentración mayor promedio de CH₄ fue de 1086,1µg/m³.

En la dirección Noreste (NE) se observaron las mayores concentraciones del contaminante teniendo en cuenta toda el área de estudio, con un máximo promedio de concentración de 22210,84µg/m³. Aunque en esta dirección no se presentan los máximos de velocidad se deduce que se obtienen las mayores concentraciones debido al efecto que tiene sobre la dispersión del contaminante, la altura de los puntos receptores. Debido a que en la dirección tanto (N) como (NE) se encuentran ubicadas montañas de considerable altura, la emisión de CH₄ se ve obligada a desplazarse de acuerdo a la orografía de la zona lo que permite que se presente este efecto sobre la concentración del gas emitido

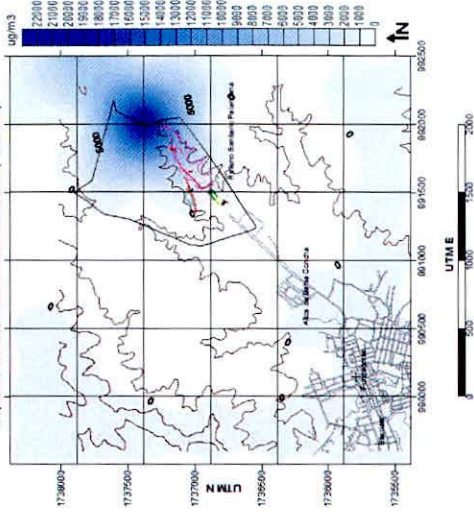
Otro aspecto que permitiría que ocurriera este hecho es que hacia el sentido Este (E) del relleno se encuentran ubicados los niveles 6 y 7, estos emiten una considerable cantidad de contaminante a la atmósfera, como se observa en la Figura 20, donde se establece el perfil de emisión para el Relleno Sanitario Palangana. Lo que conlleva a que la dispersión del contaminante se dirigiera a esa zona.

En las direcciones de viento Este (E), Sureste (SE), y Sur (S), no se presentaron concentraciones considerables, En esta direcciones las concentraciones máximas de CH₄ fueron 1319,5, 1995,8 y 783,9µg/m³ respectivamente. Por otra parte en las direcciones de viento Suroeste (SW), Oeste (W) y Noroeste (NW), se presentaron concentraciones dentro del rango de los 3000-4000µg/m³ encontrándose valores de 3986,6, 3421,2 y 35029µg/m³ respectivamente.

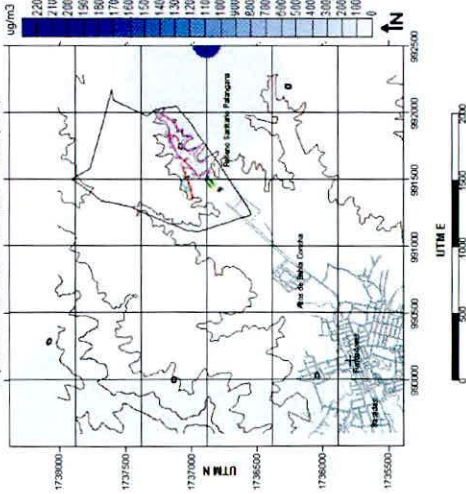
Dispersión del CH4 en dirección de viento a 0° (NORTE)



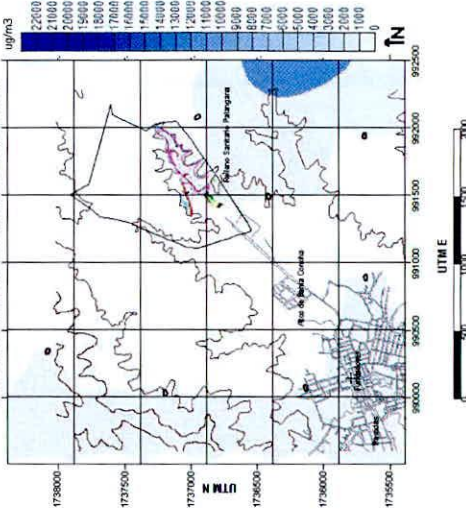
Dispersión del CH4 en dirección de viento a 45° (NORESTE)



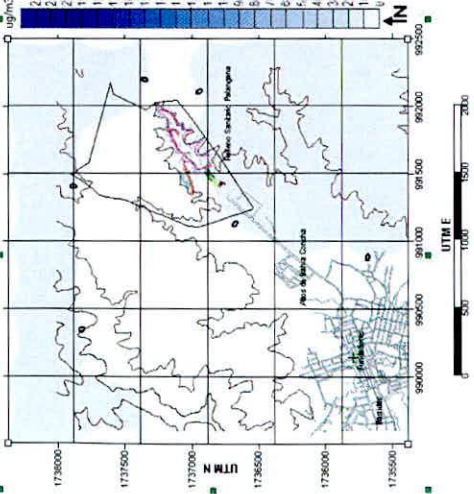
Dispersión del CH4 en dirección de viento a 90° (ESTE)



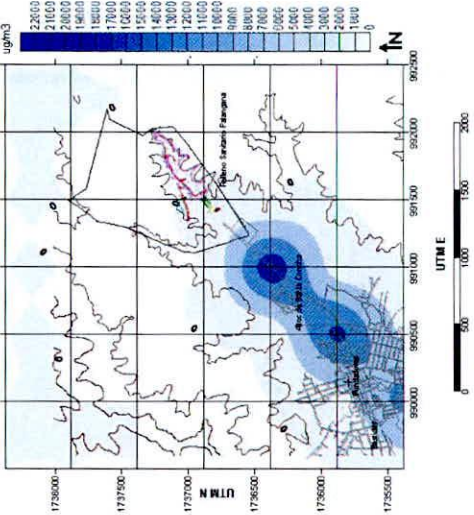
Dispersión del CH4 en dirección de viento a 135° (SURESTE)



Dispersión del CH4 en dirección de viento a 180° (SUR)



Dispersión del CH4 en dirección de viento a 225° (SUROESTE)



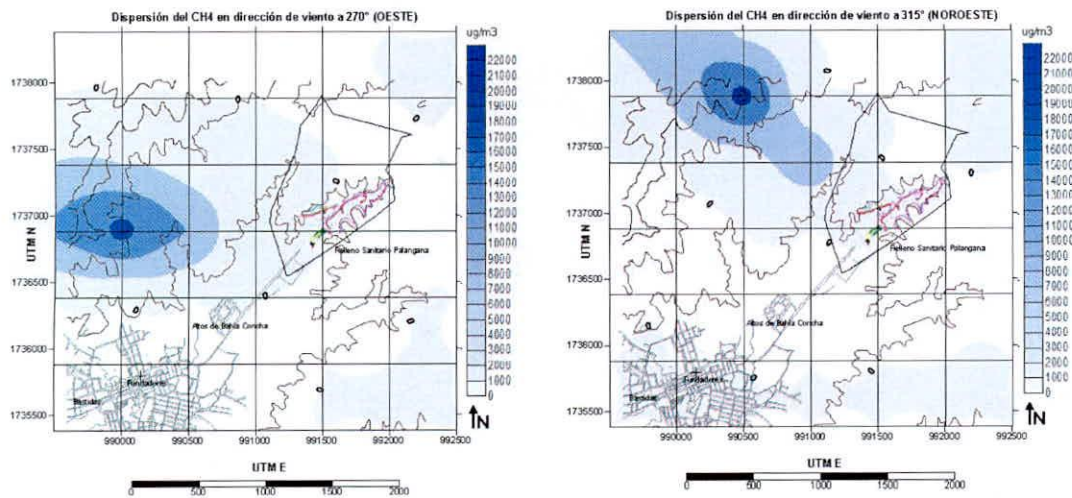


Figura 24. Dispersión de CH₄ teniendo en cuenta la dirección del viento

En Figura 25 se observan las isopletas de concentración del contaminante que permiten observar la dispersión del mismo en dirección Suroeste (SW). Es importante el análisis de la dispersión en esta dirección del viento debido a que claramente se observa que incide en las poblaciones vecinas o cercanas al relleno sanitario. La dispersión del contaminante cuando el viento sopla en esta dirección permite observar que existen concentraciones de contaminante del rango de 0-3500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aunque las concentraciones de CH₄ no representan ningún riesgo para las personas que habitan las áreas que se ven influenciada por el viento en la dirección Suroeste (SW), la presencia de CH₄ en esta zona, son un indicio de la presencia de sustancias químicas tóxicas volátiles que si representan peligros para la salud pública. Entre las cuales se destacan el benceno, el tolueno y el xileno, sustancias contenidas en las emisiones de biogás de las cuales hace parte el CH₄.

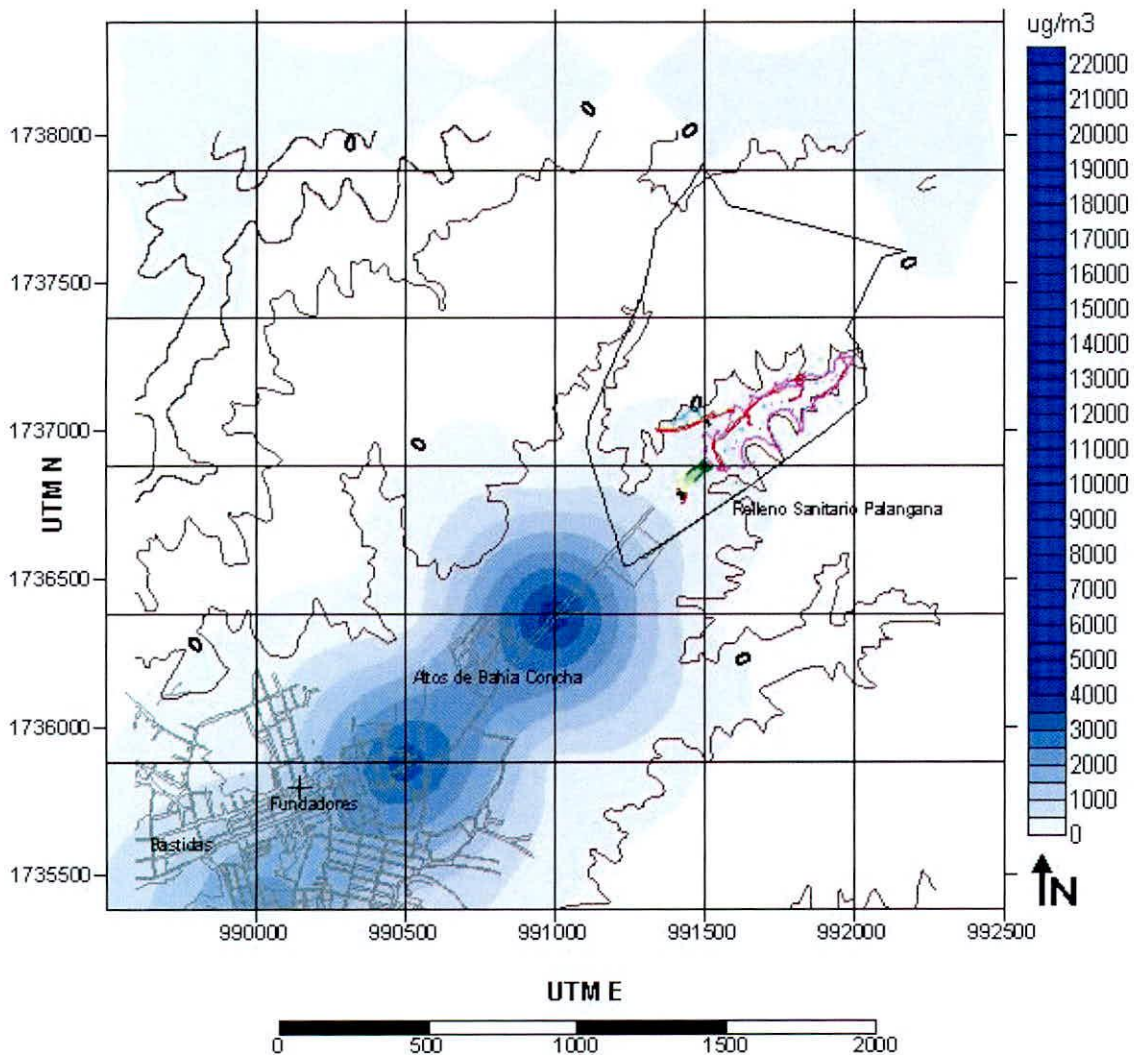


Figura 25. Isopletas de concentración de CH₄ determinadas teniendo en cuenta las dirección de viento Suroeste (SW)

El área de influencia afectada por la emisión de CH₄ generado por la disposición final de residuos sólidos en el Relleno Sanitario Palangana se presenta en la Figura 26.

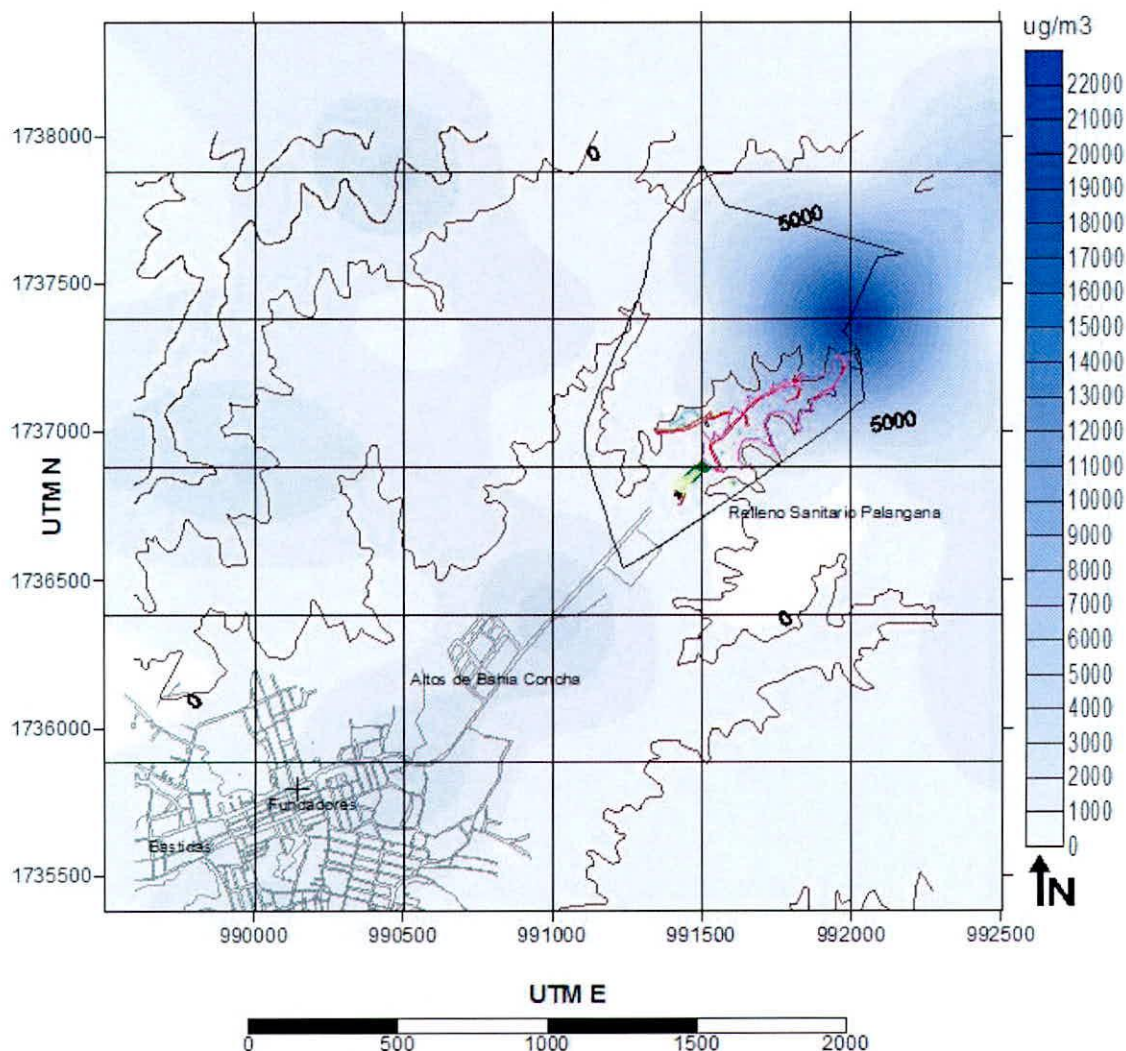


Figura 26. Isopletas de concentración de CH₄ determinadas teniendo en cuenta las direcciones y velocidades máximas de los vientos

5.6.1 *Influencia Directa*

Las áreas afectadas directamente por la emisiones de CH₄, es el área que se encuentra entre las coordenadas (0,1000) y (1000,1500), un área aproximada de 2500m² en sentido norte, noreste y este específicamente. Esta zona se caracteriza por ser el área donde se realizan las actividades propias de operación

del relleno sanitario, estas actividades generan efectos positivos o negativos a corto plazo, por lo que resultan muy evidentes.

5.6.2 *Influencia Indirecta*

Las áreas que se ve influenciada indirectamente por la emisión de metano es la restante a la anterior, dentro de estas áreas se encuentran los barrios de Altos de Bahía Concha, Fundadores, Bastidas y la ciudad de Santa Marta en general. Se consideran áreas de indirecta debido a que las concentraciones de CH₄ no alcanzan valores representativos, lo que permite que se vean efectos reflejados a mediano y largo plazo, por consiguiente son áreas que se encuentran distantes al relleno.

5.7 VERIFICACIÓN DEL CRITERIO DE SEGURIDAD

De acuerdo al límite máximo permisible para la concentración de metano en el aire calculado en base de la ecuación 8 del punto 4.4, el relleno no deberá superar los 8.098.000ug/m³. En efecto, de acuerdo a los cálculos efectuados en el relleno dentro del periodo completo de modelación es de 6740,3224ug/m³, equivalente al 0,083% del valor límite estimado. Para el nivel máximo promedio de concentraciones que se presenta en un día el valor es 60158,3711ug/m³ equivalente al 0,74% del valor límite estimado.

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología para el análisis de la dispersión del Metano (CH_4) que puede ser implementada para el análisis de otros gases en zonas de influencia del Relleno Sanitario Palangana en la ciudad de Santa Marta. Esta metodología incluyó la implementación de herramientas ambientales que permitieron determinar los diferentes parámetros utilizados en la consecución de los objetivos y el análisis de bases técnicas y ambientales para la toma de decisiones a futuro relacionado con el biogás que emite el Relleno Sanitario teniendo en cuenta la importancia al igual que los beneficio que trae el control y manejo adecuado del mismo. La determinación de la tasa emisiones de CH_4 dio como resultado que en el Relleno Sanitario las emisiones promedio diarias son de $45.994\text{m}^3/\text{día}$.

Las concentraciones de los gases que se analizaron, mostraron valores representativamente bajos. Para este tipo de emisiones no hay normatividad ni local ni nacional que permita verificar el cumplimiento en materia de calidad de aire. Dentro de las características de estos gases se concluyo que no inducen ningún riesgo para la salud pública, pero pueden ser agentes que permitan la formación de atmósferas explosivas dentro de las instalaciones del Relleno Sanitario. Este tipo de fenómenos pueden concurrir en accidentes tanto en entornos laborales inicialmente como domésticos a futuros por la presencia de las comunidades que se encuentran aledañas al Relleno Sanitario. Teniendo en cuenta que las emisiones de los gases provenientes de la descomposición de los residuos sólidos ira en aumento a medidas que se vayan disponiendo mayor cantidad de estos, es importante que se establezcan los factores de riesgo asociados a la ocurrencia de este tipo de accidentes y de igual forma se implanten la clasificación de zonas en función de formación de atmósferas explosivas.

El resultado obtenido mediante la aplicación del modelo ISCST3 usando la modalidad de cálculo para fuentes puntuales agrupadas, permitió conocer la dispersión del CH₄ que es emitido a la atmosfera por el relleno sanitario. Esta dispersión muestra claramente que el gas se disipa por el área de estudio. La zona que se ve influenciada directamente por esta dispersión es el área propia de las labores de operación del relleno sanitario, en esta área encontramos las mayores concentraciones promedios que varían de 717,20-2274,44µg/m³ durante el periodo de estudio. Por otra parte se presentan concentraciones del rango de 0-600 µg/m³ en zonas diferentes a las anteriormente mencionadas, que se denominaron zonas de influencia indirecta. La dispersión también permitió observar que debido a la orografía de la zona se forma un corredor de emisión que conduce pequeñas concentraciones de CH₄ directamente hacia la población aledaña al relleno. Debido a esto es conveniente establecer si hay presencia de otros contaminante como el benceno, xileno y tolueno, presentes en las emisiones de Biogás generado por cualquier relleno sanitario, que son sustancia que por su complejidad toxica son agente que afectan a la salud publica en diferentes periodos.

Considerando el criterio propuesto en el Proyecto de Reglamento de Rellenos Sanitarios en Chile, vale decir, que en el relleno sanitario de Palangana la concentración de gas CH₄ no excede el límite inferior de explosividad en el aire. La concentración de CH₄ en el ambiente no supera los 8.098.000ug/m³ que regirían como límite inferior para el caso de Palangana. En el periodo completo de modelación el valor máximo de concentración fue de 2274,44ug/m³ y para el nivel máximo promedio de concentraciones que se presenta en un día el valor es 8875,66ug/m³.

Existe una estrecha relación entre los datos obtenidos en campo para el punto receptor específico (0-10000µg/m³) y la obtenida en las simulación (5071,94µg/m³), lo que nos indica que el modelo ISCST3 es una herramienta útil.

Como resultado final de este estudio se presentó una herramienta metodológica ambiental para estimar concentraciones de emisiones proveniente de los rellenos sanitarios que fue empleada al Relleno Sanitario de Palangana, y que permite obtener aproximaciones de concentraciones bastantes cercanas a la realidad. Además, dentro de la metodología de trabajo se incluyeron todas las características tanto de la zona donde se encuentra ubicado el relleno sanitario como de las características de las fuentes puntuales que en nuestro caso fueron las chimeneas que se encuentran ubicadas en el relleno sanitario.

Se espera que en trabajos futuros complementen este avance y permita la utilización de esta herramienta metodológica para la ejecución de los proyectos que se realicen por parte de la empresa encargada de la disposición final de los residuos sólidos, grupos de investigación y entidades de control, proyectos de atenuación de CH₄ debido a que tiene muchos beneficios importantes energéticos, económicos, ambientales y de seguridad. Además permite la implementación de proyectos encaminados a la protección del planeta, no solo se contribuye a reducir el efecto invernadero, sino que también contribuyen a disminuir el impacto ambiental generado por este tipo de estructuras de ingeniería.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ Se espera que en trabajos futuros se corroboren este avance con la utilización de los datos meteorológico de la estación que se encuentra ubicada dentro del Relleno Sanitario Palangana, con el fin de precisar la determinación de la dispersión de CH_4 en las zonas de influencia directas e indirectas al Relleno Sanitario Palangana que dio como resultado esta investigación.
- ✓ Se recomienda a la empresa prestadora del servicio de disposición y manejo de los residuos sólidos del Relleno Sanitario Palangana, la instalación de quemadores de gases en los niveles 1 y 2, 5, 6 y 7 para un mejor control de generación de CH_4 .
- ✓ Se recomienda que en trabajos futuros complementen este avance con la utilización de esta herramienta metodológica para la ejecución de proyectos que permitan establecer si hay presencia de otros contaminantes como el benceno, xileno y tolueno, presentes en las emisiones de biogás generado por el Relleno Sanitario Palangana en las zonas de influencias determinadas en esta investigación, ya que estas sustancia por su complejidad tóxica son agente que afectan a la salud pública en diferentes periodos y a largo plazo.
- ✓ Se recomienda establecer los factores de riesgo asociados a la formación de atmósferas explosivas dentro de las instalaciones del Relleno Sanitario Palangana y que de igual forma se implanten la clasificación de zonas en función de formación de las mismas.

8. BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO GARCÍA, Ruben y GARCÍA RENTERIA, Francisco. Producción de biogás en rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. En: Cuaderno Ambiental. No. 1 (2000); p. 64-73. Citado por: GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, 2005. p. 71

BENAVIDES, Henry. Pronóstico de la concentración de material particulado por chimeneas industriales en Bogotá. Santa fe de Bogota, 2003, 299 p Trabajo de grado (Magíster en Ciencias-Meteorología). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias.

BORJESSON, G et al. Emisiones de Rellenos Sanitarios: Opciones para monitoreo y control. En: Conferencia waste 2000 en stratford Upon-Avon. (oct.2000); p. 31-40

BORZACCONI, Liliana et al. Estimación de la producción de Biogás en Rellenos Sanitarios. En: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Montevideo Uruguay. (2000)

BUSTOS SALAS, Cristian. Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: análisis del proceso. Santiago de Chile, 2004, 86 p Trabajo de grado (Magíster en Gestión y Planificación Ambiental). Universidad de Chile. Departamento de Postgrados y Postítulos. Programa de Interfacultades.



CHILE. M&A Consultorías y Asesorías. Informe. Análisis de concentración de metano en el aire, en respuesta a la ICSARA No 1 de la declaración de impacto ambiental del proyecto: Manejo de biogás del Relleno Sanitario Santa Marta, 2005.

CICERONE, R et al. Seasonal variation of methane flux from a californian rice paddy. En: J. Geophys. No. 88 (1983); p. 11022-11024. Citado por: GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, 2005. p. 71

COLOMBIA. Corporación Autónoma Regional del Magdalena. CORCEL LTDA. Estudio de suelos en el futuro Relleno Sanitario para el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta, 2000.

_____ INGEAMBIENTE LTDA. Estudio de Impacto Ambiental E.I.A al Relleno Sanitario Palangana de la Ciudad de Santa Marta, Santa Marta, 1998.

COLOMBIA. Contraloría General de la Nación. Auditoría especial al manejo de residuos, 2005. 16 p.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Vice Ministerio de Agua y Saneamiento. Lista de Evaluación del Relleno Sanitario de Palanga de la Ciudad de Santa Marta, Santa Marta: PGIRS, 2007.

COLLAZOS, Héctor. Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. 3 ed. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

CRANER, J. Toxic gases emitted from landfills. En: Rachel S hazardous waste new. No. 226 (1991). Citado por: GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO

GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2005. p. 71

ELIASSEN, R. Descomposition of Landfills. En: American Journal of public Health. Vol.32, No. 3 (1942). Citado por: GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, 2005. p. 71

ENVIRONMENT AGENCY. Guidance on the management of landfill gas. Environmet Agency, Briston. 2004

_____ Environmental Research Foundation. EEUU, 1998.

GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. En: Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia. No. 033 (jun.2005); p. 70-83

GOLDBERG, MS et al. Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. En: Archives of Environmental Health. No. 50(6) 416-424. 1995.

HENRY, J. et al. Ingeniería Ambiental. México: Prentice may, 1999. Capítulo 13.

HURTADO, Yuri y VERGARA, Eliana. Determinación de la variación temporal y espacial de partículas totales suspendidas (PTS) utilizando el modelo ISCST. Santa Marta, Colombia, 2007, 102 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental y

Sanitario). Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPPC). Third Assessment report of working group I of the Intergovernmental panel on climate change: Summary for policy makers. (2001). Citado por: SOLÓRZANO OCHOA, Gustavo. Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: El caso del Metano. Gaceta Ecológica: Instituto Nacional de Ecología, 2003); p. 7-8

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Guía Metodológica para la selección y aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Bogotá: ICONTEC, 1998. 14 p.

JEUASEELAN, S. A simple mathematical model for anaerobic digestion process. En: Wat.Sci.Tech. Vol.35, No. 8 (1997); p. 185-191. Citado por: GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, 2005. p. 71

KHANH t. tran, "Comparative Use Of ISCLT3, ISC-PRIME And AERMOD In Air Toxics Risk Assessment", (2002)

KRUGER, D. The prominent role of methane in addressing global climate change. En: USEPA Methane y sequestración Branch. (2000). Citado por: SOLÓRZANO OCHOA, Gustavo. Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: El caso del Metano. Gaceta Ecológica: Instituto Nacional de Ecología, 2003); p. 8

MACHADO, Sandro L et al. Methane generation in tropical landfills simplified methods and field results. En: Waste Management: Elsevier Ltd. Vol.29 (2009); p. 153-161

PERALTA, J et al. Modelamiento de dispersión de contaminantes en la atmósfera emitidos por generadores termoeléctricos móviles. En: Revista facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción. (2005); p. 1-12.

SCHARFF, Heijo and JOERI, Jacobs. Applying guidance for methane emission estimation for landfills. En: Waste Management: Elsevier. Vol .26 (Jun.2006); p. 417-426

SOLÓRZANO OCHOA, Gustavo. Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: El caso del Metano. En: Gaceta Ecológica: Instituto Nacional de Ecología. No. 066 (ene-mar.2003); p. 7-15

TALYAN, Vikash et al. Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delhi. En: Resources Conservation & Recycling: Elsevier, (Jun.2006); p. 1-19

USEPA. Regulatory package for new source performance standards and III(d) Guidelines for municipal solid waste air emissions. En: Public docket. No. A-88-09. Proposed (may.1991). Research triangle park, Nc. u.s. Environmental protection agency. (1991). Citado por: GARCÍA RENTERÍA, Francisco y AGUDELO GARCÍA, Ruben. Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín. Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, 2005. p. 71

VALLEJO, Willfrido. Estudio de Viabilidad para el aprovechamiento del biogás producido en el sitio de disposición final de Navarro bajo los mecanismos

establecidos en el Protocolo de Kioto 2008. Santiago de Cali, 2008, 125. Trabajo de grado (Especialización en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Ambiental). Universidad Santiago de Cali.

VELÁSQUEZ CLAVIJO, Rodrigo. Diseño de una red de captación y equipo de quemado de Biogás para el relleno sanitario COIPUE. Temuco, 2005, 181 p. Trabajo de grado (Licenciado en Ciencias de Ingeniería). Universidad católica de Temuco. Facultad de Ingeniería.

VICENT E et al. Dispersión de contaminantes en la atmósfera. 1 ed. España. Alfaomega, 2004; p. 218.

VIGNEAULT, Harold; LEFEBVRE, Rene; and MIROSLAV, Nastev. Numerical Simulation of the Radius of Influence for Landfill Gas Wells. En: Vadose Zone Journal: Soil Science Society of America. Vol. 3 , No. 677 (2004); p. 909-916

YOUNG, P.J and PARKER, A. The identification and possible environmental impact of trace gases and vapours in LFG. En: Waste Manage. Re 1 (1983); p. 213-226. Citado por: BORJESSON, G et al. Emisiones de Rellenos Sanitarios: Opciones para monitoreo y control. Conferencia waste 2000 en stratford Upon-Avon, 2000 p. 31

ANEXO A
INFORMES TÉCNICOS DE MONITOREO DE BIOGÁS EN LAS
CHIMENEAS - INSPECTORATE



INSPECTORATE

INTERASEO S.A. E.S.P.

**INFORME TECNICO DE MONITOREO DE
BIOGAS EN LAS CHIMENEAS DE LOS
RELLENOS SANITARIOS PALANGANA Y
VERACRUZ**

ABRIL, 2008

1. DESCRIPCION DEL CLIENTE

EMPRESA/PERSONA NATURAL:

INTERASEO S.A. E.S.P.

DIRECCION:

Calle 26 # 2 -151, Santa Marta Tel. 5 4216092.

NOMBRE FUNCIONARIO SOLICITANTE:

Ing. Jorge Alberto Diazgranados.

NIT:

819.000.939-1

SERVICIO SOLICITADO:

- Mediciones de la composición del biogás.
- Porcentaje de explosividad.
- Caudal de salida en las chimeneas.

FECHA DE PRESTACION DEL SERVICIO:

Recolección de muestras/datos: Abril 29 de 2008.
Ensayos, procesamiento y análisis de datos: Del 29 de Abril al 9 de Mayo 2008.

2. PROPOSITO DE LA MEDICION

Medición la concentración de biogás, caudal de salida de lo gases y porcentaje de explosividad en las chimeneas de los rellenos sanitarios Palangana y Veracruz para el seguimiento ambiental, localización de áreas peligrosas (Nivel Mínimo de Explosividad LEL) y evitar cualquier contingencia por la acumulación de metano.

3. INFORMACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION

La instrumentación utilizada para la medición de la producción de gases y caudal de las chimeneas monitoreadas en los rellenos Palangana y Veracruz fue la siguiente:

Explosímetro:

Marca: Impact Pro

P/N: 23028CS40FDHO

Con cartucho para 4 gases (O₂, CH₄, CO₂ y H₂S)

Anemómetro/Flujómetro:

Marca: Lutron

Modelo: AM-4206

El explosímetro y el cartucho medidor se probaron acorde a las siguientes normas europeas:

Para gases combustibles (metano): EN 50054, 1998

Para oxígeno: EN 50104, 2000

Para monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono: EN 45544-1 y EN 45544-2, 1999

En el anexo 1 de éste documento se presentan los certificados de calibración y conformidad de los equipos utilizados.

4. CONDICIONES ATMOSFERICAS PREDOMINANTES

Durante el monitoreo de las chimeneas en los rellenos monitoreados (Veracruz Y Palangana) se tomaron los datos atmosféricos más relevantes que pueden influir en la medición, los cuales se registran en la tabla presentada a continuación:

Tabla 3. Condiciones atmosféricas predominantes durante los monitoreos

RELLENO	FECHA	HORARIO DE TRABAJO	TEMPERATURA AMBIENTE °C	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s	ESTADO DEL TIEMPO		
					SOLEADO	NUBLADO	LLUVIOSO
Palangana	2008-04-29	09:40 - 11:05	30.9	3.43	X		
Veracruz	2008-04-29	11:45 - 12:25	34,6	2.12	X		

Las lecturas se realizaron de manera directa y realizando duplicados de mediciones en cada chimenea, esperando un lapso de mínimo 15 minutos entre medición y medición para permitir la estabilización del equipo.

5. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL RELLENO PALANGANA

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante el monitoreo realizado al relleno Palangana.

Tabla 4. Resultados Relleno Palangana

PUNTO No.	NOMBRE	POSICION GEOGRAFICA		HORA DE MEDICION	CAUDAL m ³ /min	TEMP. MUESTRA °C	METANO (% LEL)	METANO (ppm) %LEL*10000	H ₂ S (ppm)	O ₂ (% V/V)	CO ₂ (% V/V)
		NORTE (N)	OESTE (W)								
1	Chimenea 13	11°15'600"	74°09'271"	09:40	0,05	48,1	100	1000000	0,0	20,9	2,4
				11:05	0,00	40,4	100	1000000	0,0	13,2	0,0
				PROMEDIO	0,03	-	100	1000000	0,0	17,1	1,2
2	Chimenea 17	11°15'544"	74°09'289"	09:50	0,42	48,8	100	1000000	0,0	13,6	2,4
				11:00	0,51	39,6	100	1000000	3,6	15,6	1,8
				PROMEDIO	0,47	-	100	1000000	1,8	14,6	2,1
3	Chimenea 24	11°15'562"	74°09'293"	09:55	0,51	39,3	100	1000000	0,0	14,3	2,4
				10:55	0,66	27,6	100	1000000	0,0	14,6	0,9
				PROMEDIO	0,59	-	100	1000000	0,0	14,5	1,7
4	Chimenea 33	11°15'599"	4°09'245"	10:00	0,38	27,9	100	1000000	0,0	13,5	0
				10:50	0,76	29,6	100	1000000	0,0	12,2	0,2
				PROMEDIO	0,57	-	100	1000000	0,0	12,9	0,1
5	Chimenea 35	11°15'667"	74°09'202"	10:30	0,66	44,8	100	1000000	0,0	14,5	1,6
				10:45	0,66	42,6	100	1000000	0,0	13,4	0,8
				PROMEDIO	0,66	-	100	1000000	0,0	14,0	1,2
6	Chimenea 36	11°15'702"	74°09'140"	10:05	0,51	39,7	100	1000000	0,0	15,3	1,5
				10:35	0,42	43,3	100	1000000	0,0	12,8	1,7
				PROMEDIO	0,47	-	100	1000000	0,0	14,1	1,6
7	Chimenea 32	11°15'670"	74°09'149"	10:10	0,00	42	100	1000000	0,0	13,5	1,0
				10:25	0,18	43,2	100	1000000	0,0	16,2	0,7
				PROMEDIO	0,09	-	100	1000000	0,0	14,9	0,9

Todas las chimeneas monitoreadas presentaron el contenido de metano como % de LEL por encima del límite de explosividad que mide el equipo.

Igualmente se observa que de los puntos monitoreados la chimenea que mayor concentración de gas sulfhídrico (H₂S) presentó fue la # 17 con un valor promedio de 1,8 ppm. En las chimeneas 24 y 35 se observa un caudal de salida significativo con 0.59 m³/seg y 0.66 m³/seg respectivamente. El menor caudal lo presento la chimenea 13 con 0.03 m³/seg

En todas las chimeneas el % de CO₂ se mantuvo y el contenido de oxígeno por encima del 10 %, lo que favorece una atmósfera explosiva.



INSPECTORATE

INTERASEO S.A. E.S.P

**INFORME TECNICO DE MONITOREO DE
EXPLOSIVIDAD, METANO Y CAUDAL EN
CHIMENEAS DEL RELLENO SANITARIO
PALANGANA**

SANTA MARTA, JUNIO 2008



DESCRIPCION DEL CLIENTE

EMPRESA/PERSONA NATURAL:

INTERASEO S.A. E.S.P.
RELLENO SANITARIO PALANGANA

DIRECCION:

Calle 26 # 2 -151, Santa Marta

NOMBRE FUNCIONARIO SOLICITANTE:

Ing.: Jorge Diazgranados.

NIT:

819.000.939-1

Orden de servicio:

05-00884

Código de muestreo:

06500

SERVICIO SOLICITADO:

- Concentración de metano.
- Porcentaje de explosividad.
- Caudal de salida en las chimeneas.
- Temperatura del gas.

FECHA DE PRESTACION DEL SERVICIO:

Recolección de muestras/datos: 28 de Junio de 2008.
Ensayos, procesamiento y análisis de datos: 01 de Junio de 2008.

1. LUGARES DE MONITOREO.

Durante el presente monitoreo se establecieron 7 puntos distribuidos en el relleno Palangana, el cual es operado y mantenido por Interaseo S.A. E.S.P. y en la tabla presentada a continuación se describe la posición geográfica de las chimeneas monitoreadas.

Tabla 1. Ubicación de las chimeneas en el relleno Palangana

PUNTO	IDENTIFICACION DE CHIMENEA	POSICION GEOGRAFICA
1	Chimenea # 13, cerca de la vía	N 11°15'600" W 74°09'271"
2	Chimenea # 17	N 11°15'544" W 74°09'289"
3	Chimenea # 24	N 11°15'562" W 74°09'293"
4	Chimenea # 33	N 11°15'599" W 74°09'245"
5	Chimenea # 35	N 11°15'667" W 74°09'202"
6	Chimenea # 36	N 11°15'702" W 74°09'140"
7	Chimenea # 32	N 11°15'702" W 74°09'149"

2. EQUIPOS DE MEDICION

Explosímetro:

Marca: Impact Pro

P/N: 23028CS40FDHO

Con cartucho para 4 gases (O₂, CH₄, CO₂ y H₂S)

Anemómetro/Flujómetro:

Marca: Lutron

Modelo: AM-4206

3. CONDICIONES ATMOSFERICAS PREDOMINANTES

Los datos atmosféricos más relevantes durante las mediciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Condiciones atmosféricas predominantes

RELLENO	FECHA	HORARIO DE TRABAJO	TEMPERATURA AMBIENTE °C	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s	ESTADO DEL TIEMPO		
					SOLEADO	NUBLADO	LLUVIOSO
Palangana	2008-06-28	08:50 - 10:05	32.7	4.37	X		

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la medición el caudal realizado en las chimeneas monitoreadas en el relleno Palangana.

Tabla 3. Resultados Relleno Palangana Mes de Junio 2008

NOMBRE	POSICION GEOGRAFICA		HORA DE MEDICION	CAUDAL m ³ /min	TEMP. MUESTRA °C	METANO (% LEL)	METANO (ppm) %LEL*10000	H ₂ S (ppm)	O ₂ (% V/V)	CO ₂ (% V/V)
	NORTE (N)	OESTE (W)								
Chimenea 13	11°15'600"	74°09'271"	8:50	0.40	43.2	75	750000	0.0	0.8	1.3
			10:05	0.44	41.6	100	1000000	0.2	0.2	0.4
			PROMEDIO	0.42	-	88	875000	0.1	0.5	0.9
Chimenea 17	11°15'544"	74°09'289"	8:55	0.13	42.2	100	1000000	2.6	0.1	1.3
			10:00	0.39	42.4	100	1000000	0.5	0.3	1.1
			PROMEDIO	0.26	-	100	1000000	1.6	0.2	1.2
Chimenea 24	11°15'562"	74°09'293"	9:00	0.55	39.6	100	1000000	1.1	0.3	2.3
			9:55	0.33	39.3	100	1000000	0.2	0.1	1.4
			PROMEDIO	0.44	-	100	1000000	0.7	0.2	1.9
Chimenea 33	11°15'599"	4°09'245"	9:05	0.49	48.8	100	1000000	0.9	0	2.4
			9:50	0.06	40.5	100	1000000	0.0	0.2	1.1
			PROMEDIO	0.28	-	100	1000000	0.5	0.1	1.8
Chimenea 35	11°15'667"	74°09'202"	9:10	0.90	44.2	100	1000000	0.2	0.2	0.8
			9:45	0.58	44.4	100	1000000	0.2	0.2	2.4
			PROMEDIO	0.74	-	100	1000000	0.2	0.2	1.6
Chimenea 36	11°15'702"	74°09'140"	9:15	0.54	41.3	100	1000000	0.8	0.3	1.6
			9:40	1.17	40.0	100	1000000	0.8	0.3	2.4
			PROMEDIO	0.86	-	100	1000000	0.8	0.3	2.0
Chimenea 32	11°15'670"	74°09'149"	9:20	0.00	36.8	100	1000000	0.8	0.0	1.3
			9:35	0.00	38.6	100	1000000	0.0	0.3	1.3
			PROMEDIO	0.00	-	100	1000000	0.4	0.2	1.3

5. OBSERVACIONES

En todas las chimeneas se evidencia una atmósfera altamente explosiva.

Coordinación Laboratorios
 Pedro Palacio - Químico

Dirección Técnica
 Kelly Gaviria - Q. F. Msc. Gestión ambiental

- FIN DEL DOCUMENTO -



INSPECTORATE

INTERASEO S.A. E.S.P.

**INFORME TECNICO DE MONITOREO CAUDAL
EN LAS CHIMENEAS DEL RELLENO
SANITARIO PALANGANA**

SANTA MARTA, MAYO 2008.



DESCRIPCION DEL CLIENTE

EMPRESA/PERSONA NATURAL:

INTERASEO S.A. E.S.P.
RELLENO SANITARIO PALANGANA

DIRECCION:

Calle 26 # 2 -151, Santa Marta

NOMBRE FUNCIONARIO SOLICITANTE:

Ing.: Jorge Diazgranados.

NIT:

819.000.939-1

Orden de servicio:

05-00884

Código de muestreo:

07061

SERVICIO SOLICITADO:

- Caudal de salida en las chimeneas.
- Temperatura del gas.

FECHA DE PRESTACION DEL SERVICIO:

Recolección de muestras/datos: 01de Mayo de 2008.



1. LUGARES DE MONITOREO.

Durante el presente monitoreo se establecieron 7 puntos distribuidos en el relleno Palangana, el cual es operado y mantenido por Interaseo S.A. E.S.P. y en la tabla presentada a continuación se describe la posición geográfica de las chimeneas monitoreadas.

Tabla 1. Ubicación de las chimeneas en el relleno Palangana

PUNTO	IDENTIFICACION DE CHIMENEA	POSICION GEOGRAFICA
1	Chimenea # 13, cerca de la vía	N 11°15'600" W 74°09'271"
2	Chimenea # 17	N 11°15'544" W 74°09'289"
3	Chimenea # 24	N 11°15'562" W 74°09'293"
4	Chimenea # 33	N 11°15'599" W 74°09'245"
5	Chimenea # 35	N 11°15'667" W 74°09'202"
6	Chimenea # 36	N 11°15'702" W 74°09'140"
7	Chimenea # 32	N 11°15'702" W 74°09'149"

2. EQUIPOS DE MEDICION

Anemómetro/Flujómetro:

Marca: Lutron

Modelo: AM-4206

3. CONDICIONES ATMOSFERICAS PREDOMINANTES

Los datos atmosféricos más relevantes durante las mediciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Condiciones atmosféricas predominantes

RELLENO	FECHA	HORARIO DE TRABAJO	TEMPERATURA AMBIENTE °C	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s	ESTADO DEL TIEMPO		
					SOLEADO	NUBLADO	LLUVIOSO
Palangana	2008-05-01	09:15 - 12:20	30	4.12	X		

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la medición el caudal realizado en las chimeneas monitoreadas en el relleno Palangana.

Tabla 3. Resultados Relleno Palangana.

PUNTO No.	NOMBRE	POSICION GEOGRAFICA		HORA DE MEDICION	CAUDAL	TEMP. MUESTRA
		NORTE (N)	OESTE (W)		m ³ /min	°C
1	Chimenea 13	11°15'600"	74°09'271"	09:15	0,58	32
				09:35	0,69	36
		PROMEDIO				0,64
2	Chimenea 17	11°15'544"	74°09'289"	09:45	0,36	40
				10:05	1,52	39
		PROMEDIO				0,94
3	Chimenea 24	11°15'562"	74°09'293"	10:10	1,89	36
				10:30	2,12	39
		PROMEDIO				2,01
4	Chimenea 33	11°15'599"	4°09'245"	10:35	0,58	40
				10:50	0,40	40
		PROMEDIO				0,49
5	Chimenea 35	11°15'667"	74°09'202"	11:00	2,60	42
				11:20	2,80	40
		PROMEDIO				2,70
6	Chimenea 36	11°15'702"	74°09'140"	11:25	1,56	40
				11:50	1,60	40
		PROMEDIO				1,58
7	Chimenea 32	11°15'670"	74°09'149"	11:55	0,69	32
				12:20	1,12	38
		PROMEDIO				0,91

Coordinación Laboratorios
 Pedro Palacio Químico

Dirección Técnica
 Kelly Gaviria – Q. F. Msc. Gestión ambiental

- FIN DEL DOCUMENTO -

ANEXO B.
PARÁMETROS DE MODELACIÓN POR CHIMENEA (PLANILLA DE
CAMPO)

LOCATION							SRCPARAM					
Nivel	Nombre	Coor. X	Coor.Y	Coor. X	Coor.Y	Qs(g/s)	Hs(m)	Ts (K)	Vs (m/s)	Ds (m)	Elevacion	
1	1	Chimenea 11	991512,3666	1736917,3095	10,0	35,0	5,8002533	0,55	313,4	0,3426735	0,15	79
2	1	No tiene	991522,3666	1736912,3095	20,0	30,0	5,8002533	0,65	313,4	0,3426735	0,15	81
3	1	Chimenea 02	991527,3666	1736907,3095	25,0	25,0	5,8002533	1,1	313,4	0,2832013	0,165	80
4	1	Chimenea 10	991542,3666	1736892,3095	40,0	10,0	5,8002533	0,4	313,4	0,2832013	0,165	80
5	2	Chimenea 13	991528,3666	1736912,3095	26,0	30,0	5,8002533	1,7	313,4	0,2379677	0,18	81
6	2	Chimenea 04	991552,3666	1736892,3095	50,0	10,0	5,8002533	1,74	313,4	0,2379677	0,18	80
7	3	Chimenea 09	991575,3666	1736885,3095	73,0	3,0	8,8866267	1,74	315,2	0,3645928	0,18	83
8	3	Chimenea 03	991562,3666	1736907,3095	60,0	25,0	8,8866267	2,2	315,2	0,3645928	0,18	81
9	3	Chimenea 29	991549,5954	1736930,0767	47,2	47,8	8,8866267	1,65	315,2	0,3645928	0,18	85
10	3	Chimenea 28	991540,3666	1736957,3095	38,0	75,0	8,8866267	1,93	315,2	0,3645928	0,18	81
11	3	Chimenea 27	991572,3666	1736977,3095	70,0	95,0	8,8866267	2,13	315,2	0,3645928	0,18	83
12	3	Chimenea 26	991603,3666	1737012,3095	101,0	130,0	8,8866267	1,8	315,2	0,3645928	0,18	85
13	3	Chimenea 25	991635,3666	1737047,3095	133,0	165,0	8,8866267	1,9	315,2	0,3645928	0,18	90
14	3	Chimenea 22	991675,3666	1737083,3095	173,0	201,0	8,8866267	2,35	315,2	0,3645928	0,18	88
15	3	Chimenea 19	991707,3666	1737112,3095	205,0	230,0	8,8866267	2,5	315,2	0,3645928	0,18	87
16	3	Chimenea 18	991742,3666	1737127,3095	240,0	245,0	8,8866267	2	315,2	0,3645928	0,18	85
17	3	Chimenea 17	991767,3666	1737137,3095	265,0	255,0	8,8866267	1,45	315,2	0,3645928	0,18	84
18	3	Chimenea 06	991803,3666	1737142,3095	301,0	260,0	8,8866267	1,65	315,2	0,3645928	0,18	83
19	4	Chimenea 05	991598,0260	1736934,9290	95,7	52,6	16,176853	1,22	310,0	0,6636898	0,18	81
20	4	Chimenea 08	991613,4110	1736963,7160	111,1	81,4	16,176853	1,33	310,0	0,6636898	0,18	81
21	4	Chimenea 15	991638,7150	1736992,3350	136,4	110,0	16,176853	1,2	310,0	0,6636898	0,18	84
22	4	Chimenea 07	991714,1380	1736979,4130	211,8	97,1	16,176853	2,3	310,0	0,6636898	0,18	83
23	4	Chimenea 16	991689,0110	1737006,1850	186,7	123,9	16,176853	1,9	310,0	0,6636898	0,18	87
24	4	Chimenea 20	991667,1320	1737025,5620	164,8	143,2	16,176853	2,32	310,0	0,6636898	0,18	87
25	4	Chimenea 24	991693,6120	1737071,6020	191,3	189,3	16,176853	1,89	310,0	0,6636898	0,18	85
26	5	Chimenea 23	991763,6970	1737173,7440	261,3	291,4	7,1305867	1,65	311,0	0,2925475	0,18	91
27	5	Chimenea 33	991789,3000	1737184,7490	286,9	302,4	7,1305867	0,92	311,0	0,3481557	0,165	91
28	5	Chimenea 31	991821,6410	1737196,1670	319,3	313,8	7,1305867	1,93	311,0	0,3481557	0,165	92
29	5	Chimenea 30	991842,3119	1737166,9727	340,0	284,7	7,1305867	0,85	311,0	0,3481557	0,165	90
30	6	No tiene	991730,2410	1737089,4860	227,9	207,2	13,5694	1,39	313,9	0,6625351	0,165	91
31	6	No tiene	991762,4890	1737096,0920	260,1	213,8	13,5694	2,28	313,9	0,6625351	0,165	88

LOCATION							SRCPARAM					
Nivel	Nombre	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y	Qs(g/s)	Hs(m)	Ts (K)	Vs (m/s)	Ds (m)	Elevacion	
32	6	Chimenea 32	991804,8520	1737070,5490	302,5	188,2	13,5694	2,39	313,9	0,5567135	0,18	90
33	6	No tiene	991819,3430	1737043,2690	317,0	161,0	13,5694	1,92	313,9	0,5567135	0,18	87
34	6	No tiene	991785,7840	1737107,1590	283,4	224,8	13,5694	2,44	313,9	0,5567135	0,18	90
35	6	No tiene	991804,5450	1737118,9190	302,2	236,6	13,5694	1,29	313,9	0,6625351	0,165	91
36	6	No tiene	991821,8120	1737107,5490	319,5	225,2	13,5694	2,85	313,9	1,2526054	0,12	96
37	6	Chimenea 35	991852,0880	1737087,6890	349,7	205,4	13,5694	1,3	313,9	0,5567135	0,18	96
38	6	No tiene	991846,7680	1737130,3790	344,4	248,1	13,5694	2,15	313,9	0,5567135	0,18	96
39	6	No tiene	991871,7020	1737147,3290	369,4	265,0	13,5694	2,1	313,9	0,6625351	0,165	96
40	6	No tiene	991892,5384	1737117,0314	390,2	234,7	13,5694	1,6	313,9	0,6625351	0,165	96
41	7	Chimenea 44	991905,0170	1737151,1090	402,7	268,8	15,48508	0,7	313,9	1,4294438	0,12	98
42	7	Chimenea 43	991926,8450	1737166,7490	424,5	284,4	15,48508	2,1	313,9	0,7560695	0,165	99
43	7	Chimenea 42	991947,6870	1737187,8570	445,3	305,5	15,48508	1,95	313,9	0,7560695	0,165	100
44	7	Chimenea 36	991965,8020	1737223,8580	463,5	341,5	15,48508	0,57	313,9	0,7560695	0,165	99
45	7	No tiene	991949,2280	1737243,8430	446,9	361,5	15,48508	0,89	313,9	0,7560695	0,165	100

ANEXO C.
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

10 GENERACION DE GAS

Vida Util: 15 años

10.1 COMPOSICION FISICA DE LOS DESECHOS

Material	Caracterizacion %	Peso total	Contenido Humedad %	Peso humedo	Peso Seco Kg
Residuos de Comida	33,00%	37.410.125	70%	26.187.087,76	11.223.038
Residuos de jardin	20,10%	22.786.167	60%	13.671.700,36	9.114.467
Papeles	5,10%	6.915.205	6%	414.912,30	6.500.293
Carton	2,30%	2.607.372	5%	130.368,62	2.477.004
Plasticos	5,00%	5.668.201	2%	113.364,02	5.554.837
Tejidos y Trapos	2,90%	3.287.556	10%	328.755,65	2.958.801
Madera	7,80%	8.842.393	20%	1.768.478,65	7.073.915
Metales	1,30%	1.473.732	3%	44.211,97	1.429.520
Aluminio	5,40%	6.121.657	2%	122.433,14	5.999.224
Vidrios	12,00%	13.603.682	2%	272.073,64	13.331.608
Mat. Inerte	4,10%	4.647.925	8%	371.833,97	4.276.091
	100,00%	113.364.016			
Composicio	Organicos		Peso Humedo	Peso Seco	
Tabla 5.1	Inorganicos		77,20%		
			22,80%		
Fraccion Or	Plastico		0,05		Residuos Totales
	Mat. Rapidamente biodegradable		0,53	25.669.014	Disponible% % Ton.
	Mat. Lentamente biodegradable		0,19	13.678.502	75% 19.251.761 19.251.760,66
					50% 6.839.251 6.839.251,10
Volumen de metano y dióxido de carbono					
A) Rapidamente descomponible					
Metano=	12.452.375				
Dioxido de Carbono	11.333.635				
B) Lentamente descomponible					
Metano=	6.765.039				
Dioxido de Carbono	6.204.170				
Cantida de gas generado(m ³ /kg)					
A) Rapidamente descomponible					
	0,93				
B) Lentamente descomponible					

ANEXO D.
ARCHIVO DE MODELO ISCST3

CO STARTING
 CO TITLEONE DETERMINACION DE METANO
 CO TITLETWO PALANGANA
 CO MODELOPT DFAULT CONC RURAL
 CO AVERTIME PERIOD
 co terrhgts elev
 CO POLLUTID CH4
 CO RUNORNOT run
 CO ERRORFIL ERRORS.LST
 CO FINISHED

SO STARTING

**	SRCID	SRCTYP	XS	YS	ZS
**	-----	-----	-----	-----	-----
SO LOCATION	PAL1	POINT	10.	35.	79.
SO LOCATION	PAL2	POINT	20.	30.	81.
SO LOCATION	PAL3	POINT	25.	25.	80.
SO LOCATION	PAL4	POINT	40.	10.	80.
SO LOCATION	PAL5	POINT	36.	30.	81.
SO LOCATION	PAL6	POINT	50.	10.	80.
SO LOCATION	PAL7	POINT	73.	03.	83.

PALANGANA.OUT.txt

SO LOCATION PAL8	POINT	60.	25.	81.
SO LOCATION PAL9	POINT	49.	70.	85.
SO LOCATION PAL10	POINT	38.	75.	81.
SO LOCATION PAL11	POINT	70.	95.	83.
SO LOCATION PAL12	POINT	101.	130.	85.
SO LOCATION PAL13	POINT	133.	165.	90.
SO LOCATION PAL14	POINT	173.	201.	88.
SO LOCATION PAL15	POINT	204.	230.	87.
SO LOCATION PAL16	POINT	240.	245.	85.
SO LOCATION PAL17	POINT	265.	255.	84.
SO LOCATION PAL18	POINT	301.	270.	83.
SO LOCATION PAL19	POINT	95.	46.	81.
SO LOCATION PAL20	POINT	110.	76.	81.
SO LOCATION PAL21	POINT	135.	105.	84.
SO LOCATION PAL22	POINT	185.	120.	83.
SO LOCATION PAL23	POINT	210.	92.	87.
SO LOCATION PAL24	POINT	171.	137.	87.
SO LOCATION PAL25	POINT	192.	186.	85.
SO LOCATION PAL26	POINT	226.	200.	91.
SO LOCATION PAL27	POINT	260.	205.	91.
SO LOCATION PAL28	POINT	262.	286.	92.
SO LOCATION PAL29	POINT	285.	300.	90.
SO LOCATION PAL30	POINT	315.	156.	91.
SO LOCATION PAL31	POINT	300.	185.	88.

PALANGANA.OUT.txt

SO LOCATION	PAL32	POINT	282.	216.	90.
SO LOCATION	PAL33	POINT	300.	233.	87.
SO LOCATION	PAL34	POINT	316.	220.	90.
SO LOCATION	PAL35	POINT	325.	240.	91.
SO LOCATION	PAL36	POINT	342.	242.	96.
SO LOCATION	PAL37	POINT	362.	235.	96.
SO LOCATION	PAL38	POINT	395.	250.	96.
SO LOCATION	PAL39	POINT	365.	265.	96.
SO LOCATION	PAL40	POINT	348.	205.	96.
SO LOCATION	PAL41	POINT	401.	260.	98.
SO LOCATION	PAL42	POINT	424.	280.	99.
SO LOCATION	PAL43	POINT	495.	296.	100.
SO LOCATION	PAL44	POINT	463.	330.	99.
SO LOCATION	PAL45	POINT	442.	365.	100.

**	SRCID	QS	HS	TS	VS	DS
**	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SO SRCPARAM	PAL1	5.800	0.55	313.4	0.178	0.150
SO SRCPARAM	PAL2	5.800	0.65	313.4	0.178	0.150
SO SRCPARAM	PAL3	5.800	1.10	313.4	0.147	0.165
SO SRCPARAM	PAL4	5.800	0.40	313.4	0.147	0.165
SO SRCPARAM	PAL5	5.800	1.70	313.4	0.124	0.180
SO SRCPARAM	PAL6	5.800	1.74	313.4	0.124	0.180
SO SRCPARAM	PAL7	8.887	1.74	315.2	0.190	0.180

PALANGANA.OUT.txt

SO SRCPARAM PAL8	8.887	2.20	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL9	8.887	1.65	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL10	8.887	1.93	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL11	8.887	2.13	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL12	8.887	1.80	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL13	8.887	1.90	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL14	8.887	2.35	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL15	8.887	2.50	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL16	8.887	2.00	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL17	8.887	1.45	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL18	8.887	1.65	315.2	0.190	0.180
SO SRCPARAM PAL19	16.177	1.22	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL20	16.177	1.33	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL21	16.177	1.20	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL22	16.177	2.30	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL23	16.177	1.90	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL24	16.177	2.32	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL25	16.177	1.89	310.0	0.345	0.180
SO SRCPARAM PAL26	7.131	1.65	311.0	0.152	0.180
SO SRCPARAM PAL27	7.131	0.92	311.0	0.181	0.165
SO SRCPARAM PAL28	7.131	1.93	311.0	0.181	0.165
SO SRCPARAM PAL29	7.131	0.85	311.0	0.181	0.165
SO SRCPARAM PAL30	13.569	1.39	313.9	0.345	0.165
SO SRCPARAM PAL31	13.569	2.28	313.9	0.345	0.165

PALANGANA.OUT.txt

SO SRCPARAM	PAL32	13.569	2.39	313.9	0.289	0.180
SO SRCPARAM	PAL33	13.569	1.92	313.9	0.289	0.180
SO SRCPARAM	PAL34	13.569	2.44	313.9	0.289	0.180
SO SRCPARAM	PAL35	13.569	1.29	313.9	0.345	0.165
SO SRCPARAM	PAL36	13.569	2.85	313.9	0.651	0.120
SO SRCPARAM	PAL37	13.569	1.30	313.9	0.289	0.180
SO SRCPARAM	PAL38	13.569	2.15	313.9	0.289	0.180
SO SRCPARAM	PAL39	13.569	2.10	313.9	0.345	0.165
SO SRCPARAM	PAL40	13.569	1.60	313.9	0.345	0.165
SO SRCPARAM	PAL41	15.485	0.70	313.9	0.743	0.120
SO SRCPARAM	PAL42	15.485	2.10	313.9	0.393	0.165
SO SRCPARAM	PAL43	15.485	1.95	313.9	0.393	0.165
SO SRCPARAM	PAL44	15.485	0.57	313.9	0.393	0.165
SO SRCPARAM	PAL45	15.485	0.89	313.9	0.393	0.165
SO SRCGROUP	ALL					
SO	FINISHED					

RE STARTING

RE GRIDCART CAR1 STA

RE GRIDCART CAR1 XPNTS -2000 -1500 -1000 -500 0 500 1000

RE GRIDCART CAR1 YPNTS -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500

RE GRIDCART CAR1 ELEV 1 0. 0. 0. 0. -16. -16. -16.

RE GRIDCART CAR1 ELEV 2 0. 0. 0. 0. -16. -16. -16.

PALANGANA.OUT.txt

RE GRIDCART CAR1 ELEV 3 3. 3. 3. 0. -16. -16. -16.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 4 210. 110. 10. -16. 0. -16. -16.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 5 60. 60. 3. 3. 45. 55. -16.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 6 260. 310. 260. 160. 3. 3. 10.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 7 260. 360. 260. 260. 60. 10. 10.
RE GRIDCART CAR1 END
RE DISCCART -710. -755. 86.
RE FINISHED

ME STARTING

ME INPUTFIL STAMTA.MET

ME ANEMHGHT 10.0 METERS

ME SURFDATA 1501505 2008 SANTAMARTA

ME UAIRDATA 1501505 2008 SANTAMARTA

ME FINISHED

OU STARTING

OU RECTABLE ALLAVE FIRST

OU MAXTABLE ALLAVE 50

OU POSTFILE PERIOD ALL PLOT LEONE.PLT

OU FINISHED

*** Message Summary For ISC3 Model Setup ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 1 Warning Message(s)
 A Total of 0 Informational Message(s)

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
 *** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
 RE W282 128 CHK_EL:RecElev < SrcBase; See non-DEFAULT HE>ZI option in MCB#9

 *** SETUP Finishes Successfully ***

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 1

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** MODEL SETUP OPTIONS SUMMARY ***

**Intermediate Terrain Processing is Selected

**Model Is Setup For Calculation of Average CONCentration Values.

-- SCAVENGING/DEPOSITION LOGIC --

**Model Uses NO DRY DEPLETION. DDPLETE = F

**Model Uses NO WET DEPLETION. WDPLETE = F

**NO WET SCAVENGING Data Provided.

**NO GAS DRY DEPOSITION Data Provided.

**Model Does NOT Use GRIDDED TERRAIN Data for Depletion Calculations

**Model Uses RURAL Dispersion.

**Model Uses Regulatory DEFAULT Options:

1. Final Plume Rise.
2. Stack-tip Downwash.
3. Buoyancy-induced Dispersion.



4. Use Calms Processing Routine.
5. Not Use Missing Data Processing Routine.
6. Default Wind Profile Exponents.
7. Default Vertical Potential Temperature Gradients.
8. "Upper Bound" Values for Supersquat Buildings.
9. No Exponential Decay for RURAL Mode

**Model Accepts Receptors on ELEV Terrain.

**Model Assumes No FLAGPOLE Receptor Heights.

**Model Calculates PERIOD Averages Only

**This Run Includes: 45 Source(s); 1 Source Group(s); and 50 Receptor(s)

**The Model Assumes A Pollutant Type of: CH4

**Model Set To Continue RUNNING After the Setup Testing.

**Output Options Selected:

Model Outputs Tables of PERIOD Averages by Receptor

Model Outputs Tables of Highest Short Term Values by Receptor (RECTABLE Keyword)

Model Outputs Tables of Overall Maximum Short Term Values (MAXTABLE Keyword)

Model Outputs External File(s) of Concurrent Values for Postprocessing (POSTFILE Keyword)

**NOTE: The Following Flags May Appear Following CONC Values: c for Calm Hours
m for Missing Hours
b for Both Calm and Missing Hours

**Misc. Inputs: Anem. Hgt. (m) = 10.00 ; Decay Coef. = 0.000 ; Rot. Angle = 0.0
Emission Units = GRAMS/SEC ; Emission Rate Unit Factor =

0.10000E+07

Output Units = MICROGRAMS/M**3

**Approximate Storage Requirements of Model = 1.2 MB of RAM.

**Input Runstream File: MODEL.INP

**Output Print File: MODEL.OUT

**Detailed Error/Message File: ERRORS.LST

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO

*** 06/11/09

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 2

*** POINT SOURCE DATA ***

EMISSION RATE SOURCE SCALAR VARY ID BY	NUMBER PART. CATS.	EMISSION RATE (GRAMS/SEC)	X (METERS)	Y (METERS)	BASE ELEV. (METERS)	STACK HEIGHT (METERS)	STACK TEMP. (DEG.K)	STACK EXIT VEL. (M/SEC)	STACK DIAMETER (METERS)	BUILDING EXISTS
PAL1	0	0.58000E+01	10.0	35.0	79.0	0.55	313.40	0.18	0.15	NO
PAL2	0	0.58000E+01	20.0	30.0	81.0	0.65	313.40	0.18	0.15	NO
PAL3	0	0.58000E+01	25.0	25.0	80.0	1.10	313.40	0.15	0.17	NO
PAL4	0	0.58000E+01	40.0	10.0	80.0	0.40	313.40	0.15	0.17	NO
PAL5	0	0.58000E+01	36.0	30.0	81.0	1.70	313.40	0.12	0.18	NO
PAL6	0	0.58000E+01	50.0	10.0	80.0	1.74	313.40	0.12	0.18	NO
PAL7	0	0.88870E+01	73.0	3.0	83.0	1.74	315.20	0.19	0.18	NO
PAL8	0	0.88870E+01	60.0	25.0	81.0	2.20	315.20	0.19	0.18	NO
PAL9	0	0.88870E+01	49.0	70.0	85.0	1.65	315.20	0.19	0.18	NO
PAL10	0	0.88870E+01	38.0	75.0	81.0	1.93	315.20	0.19	0.18	NO
PAL11	0	0.88870E+01	70.0	95.0	83.0	2.13	315.20	0.19	0.18	NO
PAL12	0	0.88870E+01	101.0	130.0	85.0	1.80	315.20	0.19	0.18	NO
PAL13	0	0.88870E+01	133.0	165.0	90.0	1.90	315.20	0.19	0.18	NO
PAL14	0	0.88870E+01	173.0	201.0	88.0	2.35	315.20	0.19	0.18	NO
PAL15	0	0.88870E+01	204.0	230.0	87.0	2.50	315.20	0.19	0.18	NO
PAL16	0	0.88870E+01	240.0	245.0	85.0	2.00	315.20	0.19	0.18	NO

PAL17	0	0.88870E+01	265.0	255.0	84.0	1.45	315.20	0.19	0.18	NO
PAL18	0	0.88870E+01	301.0	270.0	83.0	1.65	315.20	0.19	0.18	NO
PAL19	0	0.16177E+02	95.0	46.0	81.0	1.22	310.00	0.34	0.18	NO
PAL20	0	0.16177E+02	110.0	76.0	81.0	1.33	310.00	0.34	0.18	NO
PAL21	0	0.16177E+02	135.0	105.0	84.0	1.20	310.00	0.34	0.18	NO
PAL22	0	0.16177E+02	185.0	120.0	83.0	2.30	310.00	0.34	0.18	NO
PAL23	0	0.16177E+02	210.0	92.0	87.0	1.90	310.00	0.34	0.18	NO
PAL24	0	0.16177E+02	171.0	137.0	87.0	2.32	310.00	0.34	0.18	NO
PAL25	0	0.16177E+02	192.0	186.0	85.0	1.89	310.00	0.34	0.18	NO
PAL26	0	0.71310E+01	226.0	200.0	91.0	1.65	311.00	0.15	0.18	NO
PAL27	0	0.71310E+01	260.0	205.0	91.0	0.92	311.00	0.18	0.17	NO
PAL28	0	0.71310E+01	262.0	286.0	92.0	1.93	311.00	0.18	0.17	NO
PAL29	0	0.71310E+01	285.0	300.0	90.0	0.85	311.00	0.18	0.17	NO
PAL30	0	0.13569E+02	315.0	156.0	91.0	1.39	313.90	0.34	0.17	NO
PAL31	0	0.13569E+02	300.0	185.0	88.0	2.28	313.90	0.34	0.17	NO
PAL32	0	0.13569E+02	282.0	216.0	90.0	2.39	313.90	0.29	0.18	NO
PAL33	0	0.13569E+02	300.0	233.0	87.0	1.92	313.90	0.29	0.18	NO
PAL34	0	0.13569E+02	316.0	220.0	90.0	2.44	313.90	0.29	0.18	NO
PAL35	0	0.13569E+02	325.0	240.0	91.0	1.29	313.90	0.34	0.17	NO
PAL36	0	0.13569E+02	342.0	242.0	96.0	2.85	313.90	0.65	0.12	NO
PAL37	0	0.13569E+02	362.0	235.0	96.0	1.30	313.90	0.29	0.18	NO
PAL38	0	0.13569E+02	395.0	250.0	96.0	2.15	313.90	0.29	0.18	NO
PAL39	0	0.13569E+02	365.0	265.0	96.0	2.10	313.90	0.34	0.17	NO
PAL40	0	0.13569E+02	348.0	205.0	96.0	1.60	313.90	0.34	0.17	NO

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09
 *** 21:07:13 *** PALANGANA
 **MODELOPTS:
 PAGE 3
 CONC RURAL ELEV DFAULT

*** POINT SOURCE DATA ***

EMISSION RATE SOURCE SCALAR VARY ID BY	NUMBER PART. CATS.	EMISSION RATE (GRAMS/SEC)	X (METERS)	Y (METERS)	BASE ELEV. (METERS)	STACK HEIGHT (METERS)	STACK TEMP. (DEG.K)	STACK EXIT VEL. (M/SEC)	STACK DIAMETER (METERS)	BUILDING EXISTS
PAL41	0	0.15485E+02	401.0	260.0	98.0	0.70	313.90	0.74	0.12	NO
PAL42	0	0.15485E+02	424.0	280.0	99.0	2.10	313.90	0.39	0.17	NO
PAL43	0	0.15485E+02	495.0	296.0	100.0	1.95	313.90	0.39	0.17	NO
PAL44	0	0.15485E+02	463.0	330.0	99.0	0.57	313.90	0.39	0.17	NO
PAL45	0	0.15485E+02	442.0	365.0	100.0	0.89	313.90	0.39	0.17	NO

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09
 *** 21:07:13 *** PALANGANA
 **MODELOPTS:
 PAGE 4
 CONC RURAL ELEV DFAULT

*** SOURCE IDs DEFINING SOURCE GROUPS ***

GROUP ID

SOURCE IDs

ALL PAL1 , PAL2 , PAL3 , PAL4 , PAL5 , PAL6 , PAL7 , PAL8 , PAL9 , PAL10
 , PAL11 , PAL12 ,
 , PAL23 , PAL13 , PAL14 , PAL15 , PAL16 , PAL17 , PAL18 , PAL19 , PAL20 , PAL21 , PAL22
 , PAL24 ,
 , PAL35 , PAL25 , PAL26 , PAL27 , PAL28 , PAL29 , PAL30 , PAL31 , PAL32 , PAL33 , PAL34
 , PAL36 ,

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 5

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** GRIDDED RECEPTOR NETWORK SUMMARY ***

*** NETWORK ID: CAR1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

*** X-COORDINATES OF GRID ***
 (METERS)

-2000.0, -1500.0, -1000.0, -500.0, 0.0, 500.0, 1000.0,

*** Y-COORDINATES OF GRID ***
 (METERS)

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** -1500.0, -1000.0, -500.0, 0.0, 500.0, 1000.0, 1500.0,
 *** 06/11/09

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 6

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** NETWORK ID: CAR1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***


```

.00000E+00
.00000E+00
.00000E+00
.00000E+00
.00000E+00
.20000E-01
.35000E-01

```

	B	C	D	E	F
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01
.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01

*** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTs:

PAGE 9

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** THE FIRST 24 HOURS OF METEOROLOGICAL DATA ***

FILE: STAMTA.MET

FORMAT: (4I2,2F9.4,F6.1,I2,2F7.1,f9.4,f10.1,f8.4,i4,f7.2)

SURFACE STATION NO.: *****

UPPER AIR STATION NO.: *****

NAME: SANTAMARTA

NAME: SANTAMARTA

YEAR: 2008

YEAR: 2008

YR	MN	DY	HR	FLOW VECTOR	SPEED (M/S)	TEMP (K)	STAB CLASS	MIXING HEIGHT (M) RURAL	MIXING HEIGHT (M) URBAN	USTAR (M/S)	M-O LENGTH (M)	Z-0 (M)	IPCODE	PRATE (mm/HR)
08	04	01	01	0.0	2.80	301.4	3	973.6	973.6	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	02	45.0	2.40	301.4	3	863.5	863.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	03	0.0	0.80	301.4	3	368.7	368.7	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	04	135.0	1.10	301.4	3	473.2	473.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	05	180.0	3.20	301.4	3	1084.7	1084.7	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	06	180.0	1.20	301.4	3	506.2	506.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	07	225.0	1.00	298.8	3	439.2	439.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	08	270.0	1.00	301.4	3	439.3	439.3	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	09	225.0	2.60	301.4	3	919.3	919.3	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	10	225.0	2.40	301.4	3	863.5	863.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	11	225.0	3.10	301.4	3	1057.2	1057.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	12	225.0	2.80	301.4	3	974.6	974.6	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08	04	01	13	225.0	1.40	303.6	3	570.1	570.1	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00

PALANGANA.OUT.txt

08 04 01 14	315.0	2.50	301.4	3	891.5	891.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 15	0.0	4.40	301.4	4	1417.6	1417.6	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 16	0.0	7.20	301.4	4	2227.3	2227.3	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 17	0.0	6.40	301.4	4	1992.2	1992.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 18	0.0	5.60	301.4	4	1759.5	1759.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 19	0.0	7.20	301.6	4	2227.1	2227.1	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 20	0.0	5.30	301.4	4	1673.0	1673.0	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 21	0.0	6.10	301.4	4	1904.3	1904.3	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 22	0.0	5.30	301.4	4	1673.0	1673.0	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 23	0.0	2.80	301.4	3	974.6	974.6	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
08 04 01 24	0.0	1.40	301.4	3	570.1	570.1	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00

*** NOTES: STABILITY CLASS 1=A, 2=B, 3=C, 4=D, 5=E AND 6=F.
 FLOW VECTOR IS DIRECTION TOWARD WHICH WIND IS BLOWING.

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 10

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** THE PERIOD (2184 HRS) AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP:

ALL *** INCLUDING SOURCE(S): PAL1 , PAL2 , PAL3 , PAL4 , PAL5 ,
 PAL6 , PAL7 , PAL8 , PAL9 , PAL10 , PAL11 , PAL12 , PAL13 , PAL14 , PAL15 , PAL16 , PAL17 ,
 PAL18 , PAL19 , PAL20 , PAL21 , PAL22 , PAL23 , PAL24 , PAL25 , PAL26 , PAL27 , PAL28 , PAL29 ,
 PAL30 , . . . ,

*** NETWORK ID: CAR1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CH4 IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD (METERS)	-2000.00	-1500.00	-1000.00	-500.00	0.00	500.00	1000.00
1500.00	38.58130	183.81175	317.95364	113.29702	590.17084	275.61267	26.00930
1000.00	0.00000	0.00000	208.68733	597.85229	256.96393	77.48975	698.78174
500.00	91.77545	90.45881	41.73717	70.17758	944.52130	2169.96533	1.39370
0.00	167.45325	270.79565	206.95349	21.44760	5.56767	33.66792	112.70285
-500.00	2.27068	0.28695	7.18408	377.06738	22.48418	59.02979	198.13853

-1000.00 | 1.10276 37.06247 311.54019 38.37710 156.71211 123.43088 75.29926
 -1500.00 | 54.63933 207.03574 77.78809 0.65563 200.87695 163.92369 3.29355
 *** ICSST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09 ***

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 11

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** THE PERIOD (2184 HRS) AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP:

ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): PAL1 , PAL2 , PAL3 , PAL4 , PAL5 ,
 PAL6 , PAL7 , PAL8 , PAL9 , PAL10 , PAL11 , PAL12 , PAL13 , PAL14 , PAL15 , PAL16 , PAL17 ,
 PAL18 , PAL19 , PAL20 , PAL21 , PAL22 , PAL23 , PAL24 , PAL25 , PAL26 , PAL27 , PAL28 , PAL29 ,
 PAL30 , . . . ,

*** DISCRETE CARTESIAN RECEPTOR POINTS ***

** CONC OF CH4 IN MICROGRAMS/M**3 **

X-COORD (M)	Y-COORD (M)	CONC	X-COORD (M)	Y-COORD (M)	CONC
-710.00	-755.00	668.81848			

*** ICSST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
 *** 06/11/09 ***

*** PALANGANA

*** 21:07:13

**MODELOPTS:

PAGE 12

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** THE SUMMARY OF MAXIMUM PERIOD (2184 HRS) RESULTS ***

** CONC OF CH4 IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID GRID-ID	AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE

```

- - - - -
ALL      1ST HIGHEST VALUE IS      2169.96533 AT (      500.00,      500.00,      55.00,      0.00) GC      CAR1
          2ND HIGHEST VALUE IS      944.52130 AT (          0.00,      500.00,      45.00,      0.00) GC      CAR1
          3RD HIGHEST VALUE IS      698.78174 AT (     1000.00,     1000.00,      10.00,      0.00) GC      CAR1
          4TH HIGHEST VALUE IS      668.81848 AT (     -710.00,     -755.00,      86.00,      0.00) DC        NA
          5TH HIGHEST VALUE IS      597.85229 AT (     -500.00,     1000.00,     160.00,      0.00) GC      CAR1
          6TH HIGHEST VALUE IS      590.17084 AT (          0.00,     1500.00,      60.00,      0.00) GC      CAR1
          7TH HIGHEST VALUE IS      377.06738 AT (     -500.00,     -500.00,      0.00,      0.00) GC      CAR1
          8TH HIGHEST VALUE IS      317.95364 AT (    -1000.00,     1500.00,     260.00,      0.00) GC      CAR1
          9TH HIGHEST VALUE IS      311.54019 AT (    -1000.00,    -1000.00,      0.00,      0.00) GC      CAR1
         10TH HIGHEST VALUE IS      275.61267 AT (      500.00,     1500.00,      10.00,      0.00) GC      CAR1

```

```

*** RECEPTOR TYPES:  GC = GRIDCART
                       GP = GRIDPOLR
                       DC = DISCCART
                       DP = DISCPOLR
                       BD = BOUNDARY

```

```

□ *** ISCST3 - VERSION 02035 *** *** DETERMINACION DE METANO
***      06/11/09

```

```

*** PALANGANA

```

```

***      21:07:13

```

```

**MODELOPTs:

```

```

PAGE 13

```

```

CONC          RURAL ELEV          DFAULT

```

```

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

```

```

----- Summary of Total Messages -----

```

```

A Total of          0 Fatal Error Message(s)
A Total of          1 Warning Message(s)
A Total of         2268 Informational Message(s)
A Total of         2268 Cases Identified with HE > ZI

```

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
RE W282 128 CHK_EL:RecElev < SrcBase; See non-DEFAULT HE>ZI option in MCB#9

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

