

“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”

WILFRIDO VALLEJO PATIÑO
Engineer of the Environment
Environmental management and Enterprise Sustainable Development. Esp

UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
SANTIAGO DE CALI
2008.

“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”

WILFRIDO VALLEJO PATIÑO
Engineer of the Environment
Environmental management and Enterprise Sustainable Development. Esp

UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
SANTIAGO DE CALI
2008.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	9
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	11
1.1. Planteamiento del problema.	11
1.2. Formulación del problema.	13
1.3. Sistematización del problema.	14
1.3.1. Recopilación, sistematización y análisis de la información compilada de las fuentes secundarias.	14
1.3.2. Estimación sistemática con Modelos computarizados de la recuperación potencial del biogás en Navarro.	14
1.3.3. Cuantificación de la recuperación potencial de energía.	15
1.3.4. Cuantificación de los beneficios ambientales causados, debido a la reducción de emisiones a la atmósfera con el paso del tiempo.	15
2. JUSTIFICACIÓN.	16
2.1. Alcances.	20
2.2. Limitaciones.	20

3. OBJETIVOS.	22
3.1 Objetivo general.	22
3.2 Objetivos específicos.	22
4. MARCO REFERENCIAL.	23
4.1. Antecedentes del protocolo de Kioto.	23
4.1.1. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.	23
4.1.2. El Protocolo de Kioto.	24
4.1.3. Mecanismo para un Desarrollo Limpio.	24
4.1.4. La Conferencia de las Naciones Unidas para el Cambio Climático - Bali (Indonesia) 2007.	25
4.2 Marco contextual.	26
4.3 Marco teórico.	27
4.4. Marco conceptual.	29
4.5. Marco jurídico.	31

5. DISEÑO METODOLOGICO.	35
5.1. Fase de diseño.	35
5.1.1. Recopilación, sistematización y análisis de la información recopilada de las fuentes secundarias.	35
5.2. Fase de codificación o recopilación de los datos.	35
5.2.1. Estimación sistemática con modelos computarizados de la recuperación potencial del biogás en la zona de estudio.	37
5.2.1.1. Modelo propuesto por la Agencia para la Protección del ambiente de Estados Unidos (U.S. EPA)	38
5.2.1.2. Modelo CORENOSTÓS.	40
5.3. Resultados obtenidos.	42
5.3.1. Información secundaria.	42
5.3.2. Resultados de las Modelaciones.	44
5.3.2.1. Modelo propuesto por la Agencia para la Protección del Ambiente de Estados Unidos (U.S. EPA).	44
5.3.2.2. Modelo CORENOSTÓS.	45
5.3.3. Cuantificación de la recuperación potencial de energía.	45

5.3.3.1. Modelo propuesto por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA U.S.).	47
5.3.3.2. Modelo CORENOSTÓS.	48
5.3.3.3. Resultados de la caracterización de los residuos sólidos.	48
5.3.4. Cuantificación de los beneficios ambientales causados, debido a la reducción de emisiones a la atmósfera con el paso del tiempo.	49
5.4. Validación y comparación de datos.	50
6. USOS POSIBLES DEL BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA.	52
7. VIABILIDAD BAJO LOS MECANISMOS ESTABLECIDO EN EL PROTOCOLO DE KIOTO.	61
7.1. Requerimientos mínimos necesarios.	63
7.1.1. Procedimiento para la aprobación Nacional de proyectos.	64
7.2 Ciclo del proyecto.	65
7.3 Rentabilidad por la posible implementación del proyecto.	66
7.4. Propuestas a través de MDL para Navarro.	68
7.5. Entes potenciales de financiamiento del proyecto.	68

8. CONCLUSIONES.	71
9. SUGERENCIAS.	72
10. GLOSARIO.	76
11. ANEXOS TABLAS	81
12. ANEXOS GRÁFICAS.	97
13. ANEXOS FORMATOS.	105
14. BIBLIOGRAFÍA.	117
13. CIBERGRAFÍA.	123

INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire en la superficie terrestre resulta del balance entre la energía que llega al planeta a través de la radiación solar, y aquella que se pierde por enfriamiento, principalmente mediante radiación infrarroja.

Cuando la superficie terrestre es alcanzada por la radiación solar, parte de ella es absorbida por la atmósfera (reflejada por las nubes), la superficie terrestre y acuática. La radiación remanente es absorbida por la superficie terrestre, calentándose y entibiando la atmósfera, generándose, a su vez, la emisión de radiación infrarroja, la cual es invisible. Mientras que la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, pequeñas cantidades de gases presentes en ella – conocidos como gases de efecto invernadero (GEI) – absorben la radiación infrarroja emitida por la tierra, actuando como un manto que previene el escape de esta radiación hacia el espacio y provocando, entre otros efectos, el calentamiento de la superficie terrestre. Este es el llamado efecto invernadero, el cual ha operado en la atmósfera de la tierra por billones de años, debido a la presencia de los GEI naturales: el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3). Si no existiesen estos gases, la temperatura promedio de la tierra sería 30°C más baja que en la actualidad, haciendo la vida imposible.

Sin embargo, los aumentos en las concentraciones de los GEI alteran el balance de radiación de la Tierra, resultando en un “forzamiento radiactivo positivo” que tiende a calentar la baja atmósfera y la superficie terrestre. Este es el efecto invernadero inducido, cuya magnitud dependerá de la proporción del aumento en la concentración de cada uno de los gases de efecto invernadero, de las propiedades radiactivas de los gases involucrados y de las concentraciones de otros GEI ya presentes en la atmósfera.

Actualmente, existe gran preocupación porque el aumento de la concentración atmosférica de estos gases por actividades humanas (principalmente de Dióxido de Carbono -CO₂- proveniente de la quema de combustibles fósiles), podría intensificar el efecto invernadero natural, llevando a un aumento en las temperaturas y a un cambio asociado en el clima mundial, lo que podría traer consecuencias insospechadas para la humanidad.

Este estudio plantea el aprovechamiento del biogás -compuesto por GEI- producido en el sitio de disposición final de Navarro¹, para minimizar el impacto ambiental que aporta a la contaminación local en la ciudad de Cali y al calentamiento global, por medio de mecanismos ambientales legalmente vinculantes. De esta forma se busca encontrar fuentes energéticas no convencionales que generen ingresos y mejore la calidad de vida de las comunidades aledañas.

¹ Sitio de disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Santiago de Cali-Colombia.

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Planteamiento del problema.

El biogás se genera por la descomposición de la materia orgánica depositada en un relleno sanitario² y contiene aproximadamente 50% metano³ (CH₄), componente principal del gas natural), 50% dióxido de carbono (CO₂) y pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos denominados NMOC, algunos de los cuales generan malos olores. Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada (Werner et al 1989).

El metano es un gas de efecto invernadero (GEI) muy poderoso, que tiene un poder de calentamiento global 21 veces superior al del CO₂ (principal gas de efecto invernadero). En los rellenos sanitarios, las emisiones⁴ a la atmósfera contribuyen al calentamiento global del planeta y, siendo un gas combustible, pueden implicar ciertos riesgos en la seguridad (incendios o explosiones).

En Colombia, El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como Autoridad Nacional Designada (AND) para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) desarrolla líneas de acción que promuevan la ejecución de actividades de mitigación mediante proyectos de reducción y captura de gases de efecto invernadero de alta calidad que consolide al país en el mercado mundial del

² Definido como lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final. ACODAL-RAS 2000.

³ Gas que tiene una contribución real al efecto invernadero del 13% con relación a los otros gases portantes. Video Calentamiento Global TV Chile, Stephen Schneider y otros. 2007.

⁴ Estas emisiones varía en el tiempo y con las condiciones ambientales en las cuales ocurre (Hartz y Ham, 1982; Ragle *et al.*, 1995; Akesson y Nilsson, 1997).

carbono. Entre estas líneas de acción se encuentra el apoyo a la formulación de proyectos, coordinación y trabajo conjunto con entidades y sectores relevantes.

Actualmente en el sitio de disposición de Navarro se genera biogás debido a la descomposición de los residuos sólidos que se encuentran en dicho lugar. Estos gases emitidos son una fuente de contaminación atmosférica que potencialmente está contribuyendo a la calidad del aire local y al aumento de la temperatura de la tierra, lo que podría originar importantes cambios climáticos con graves implicaciones para la productividad agrícola.

En este estudio se plantea conocer la viabilidad de aprovechamiento del biogás producido en el sitio de disposición final de Navarro, bajo los mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto con el objeto de visionar ingresos económicos para la empresa prestadora de servicio público EMSIRVA E.S.P., y la aplicación de tecnologías para el mejoramiento ambiental y sanitario de la Ciudad de Cali.

1.2. Formulación del problema.

Los rellenos sanitarios son hoy una importante fuente antropogénica de generación de biogás a la atmósfera. El biogás es producido en forma natural por la degradación de la materia orgánica de la basura y es principalmente una mezcla de metano y de dióxido de carbono; Estas emisiones a la atmósfera contribuyen al calentamiento global del planeta, pero es el metano el que representa la mayor contribución al efecto invernadero debido a su potencial de calentamiento. Por lo que podemos deducir que sus efectos no solo inciden en la comunidad aledaña al sitio de disposición de residuos, sino también a la población global por efecto aportante al cambio climático.

Como respuesta a esta problemática, se han implementado una serie de estrategias en búsqueda de la reducción de los gases efecto invernadero, entre los cuales la captura, quema o aprovechamiento de biogás es una de ellas, esto mitigaría los impactos ambientales (incluyendo los malos olores y fugas que acarrea trazas de compuestos carcinogénicos y teratogénicos que son incorporados al ambiente⁵), aumentaría la seguridad operacional en el relleno y se aprovecharía en la generación de energía.

El biogás generado en rellenos sanitarios puede ser capturado utilizando un sistema de recolección de biogás que usualmente quema el gas por medio de quemadores. Alternativamente el gas recuperado puede usarse de diferentes maneras. Por ejemplo: producción de energía eléctrica a través del uso de

⁵ Manual para la operación de rellenos Sanitarios de México. Secretaria de Desarrollo Social de México. 2008.



generadores de combustión interna, turbinas, micro turbinas o puede utilizarse como combustible en calentadores de agua u otras instalaciones, etc.

1.3. Sistematización del problema.

Este estudio consta de las siguientes etapas:

1.3.1. Recopilación, sistematización y análisis de la información compilada de las fuentes secundarias. Los resultados obtenidos de la información, se almacenan y sistematizan con el objeto de predecir el comportamiento del biogás y estimar su uso potencial en su utilización como fuente de energía.

1.3.2. Estimación sistemática con Modelos computarizados de la recuperación potencial del biogás en Navarro. Se utilizarán dos Modelos matemáticos con el objeto de comparar, corroborar los resultados y disminuir el rango de incertidumbre, tendiendo a acertar las estimaciones lo más posible.

Unos de los Modelos matemáticos a utilizar para calcular la generación de biogás está basado en una ecuación teórica de degradación cinética de primer orden utilizado por ajustarse a la condición de Navarro.⁶ Este modelo es alimentado por datos específicos y provee automáticamente valores para el índice de generación de metano (k) y la generación potencial de metano (L_0) para el sitio de disposición final de los residuos sólidos⁷.

El principal propósito del Modelo es provee proyecciones de generación y recuperación de biogás teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de recolección.

El otro modelo a utilizar es el denominado CORANÓSTOS, el cual está destinado a simular el proceso de llenado de un relleno sanitario y calcula los gases y

⁶ Utilizado para sitios de disposición de residuos sólidos basado en condiciones reales de descomposición. U.S. E.P.A.

⁷ Los valores de k y L_0 varían dependiendo de variables climáticas.

lixiviados que se van produciendo, en parte, por la biodegradación que sufren los desechos orgánicos después de dispuestos y, en parte, por la infiltración de las aguas lluvias que llegan a tener contacto directo con los lechos de basura dispuesta.

1.3.3. Cuantificación de la recuperación potencial de energía.

Se utilizará el Modelo recomendado por la Agencia Protectora para el Medio ambiente de los Estados Unidos (U.S. EPA) para estimar el potencial de generación de energía a partir del biogás.

1.3.4. Cuantificación de los beneficios ambientales causados, debido a la reducción de emisiones a la atmósfera con el paso del tiempo.

Se presentarán datos proyectados a partir de las estadísticas de descargue de residuos en el sitio de disposición de Navarro, el cual dará una respuesta clara de estos beneficios.

Esta cuantificación se calculará a partir de procesamiento de datos, y otros utilizando la herramienta sistemática recomendada por la U.S E.PA -Calculator Emission Reductions and Environmental and Energy Benefits for Landfill Gas Energy Projects- que definirán claramente las ventajas del aprovechamiento del biogás, y de ahí parte el análisis para su posible implementación bajo los mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto.

Se hace claridad que los datos publicados no referenciados en este estudio, diferente a los de dominio público son realizados y calculados por el autor de esta publicación.

2. JUSTIFICACIÓN.

El estudio contribuirá las bases para la toma de decisiones a la empresa EMSIRVA E.S.P., a la ciudad de Cali, al Departamento del Valle del Cauca e indirectamente al País, basándose en tres pilares fundamentales como son:

- ✓ **Crecimiento Económico.** Hoy en día, en Colombia son pocos los proyectos centrados en la captura⁸ e incineración o utilización de biogás. Sin embargo, la implementación del estudio involucraría a profesionales y trabajadores Colombianos que ganarían conocimiento y experiencia en este tipo de emprendimientos, que representa una importante oportunidad para la adquisición de tecnologías, que cumplen con los estándares internacionales relacionados con aspectos de calidad, confianza, seguridad operacional y medioambiente. Este conocimiento adquirido estaría disponible para llevar adelante proyectos similares en otros rellenos sanitarios del País, con mayor participación de componentes Nacionales en futuros emprendimientos.

Este tipo de emprendimiento agregaría valor al tratamiento de residuos sólidos, generando empleos especializados y otros. Además, luego del estudio de viabilidad, la futura implementación de este proyecto, las inversiones y gastos operativos se solventarían en gran medida con ingresos de las regalías por la venta de Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE).

- ✓ **Protección del Medio Ambiente.** La implementación del proyecto evitará emisiones de gases efecto invernadero por un monto en toneladas de CO₂ equivalente. Asimismo, el proyecto generará beneficios ambientales

⁸ La captura de metano, se ha vuelto atractiva para hacer negocios. Evitar que gran parte de los gases que provocan el calentamiento terrestre llegue a la atmósfera puede ser un negocio millonario para los países en vías de desarrollo desde que entro en vigor el Protocolo de Kyoto.

relacionados con la posible utilización de energías renovables y la reducción de emisiones de gases peligrosos y contaminantes, como lo son:

1. Reducción de compuestos hidrocarburos, excluyendo al metano, que contribuyen a la formación de smog fotoquímico en el área local.
 2. Reducción de los riesgos de incendio, a través de las mejoras en el manejo del biogás.
 3. Reducción de emisiones de gases con olores molestos y potencialmente peligrosos que se encuentran en concentraciones trazas en el biogás (sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COV), etc.).
 4. Reducción de emisiones fugitivas a través de la cobertura superficial del relleno sanitario. Típicamente, el biogás genera un desplazamiento del oxígeno en la tierra de cobertura, perjudicando el crecimiento de las raíces de los árboles, arbustos o del pasto que podrían plantarse por sobre la cobertura final. Las plantaciones protegerían la cobertura, evitarían la erosión del terreno y minimizarían la intrusión de aguas lluvias, con una subsecuente disminución en la generación de líquidos percolados.
- ✓ **Desarrollo Social.** Como consecuencia de la realización del estudio y su futura implementación del proyecto bajo los Mecanismos de Desarrollo Limpio -- MDL⁹-, la comunidad aledaña al relleno se beneficiará por el mejoramiento de la calidad del aire y la disminución en los riesgos por un inadecuado manejo del biogás. Este aspecto se debe tener en cuenta para proyectos futuros de

⁹ Es uno de los mecanismos del Protocolo de Kyoto para frenar el calentamiento global. Estos proyectos son posibles gracias a esta herramienta del Protocolo de Kyoto, por el cual un país desarrollado invierte en tecnología y reduce emisiones a cambio de certificados a su favor para cumplir con la meta de recortar un 5,2 por ciento su nivel de gases contaminantes respecto del nivel de 1990.

expansión urbana o construcción de viviendas aledañas al sitio. Igualmente se mejoraran las condiciones laborales y el estado de salud de los empleados y demás personas que desarrollan actividades dentro del sitio de disposición por estar sometidos a un menor riesgo.

Otro aspecto importante para desarrollar proyecto de generación de energía provenientes de rellenos sanitarios son:

- ✓ Los proyectos ayudan a destruir el metano, un gas potente del calor de interceptación, y compensan el uso de recursos no renovables tales como carbón, aceite gas y natural, para producir la misma cantidad de energía. Esto puede evitar emisiones del usuario final del gas y de la central eléctrica de CO₂ y de los agentes contaminadores de los criterios tales como dióxido de sulfuro (que sea un contribuidor importante a la lluvia ácida), materia de partículas una preocupación de la salud respiratoria, óxidos del nitrógeno, y remonta los agentes contaminadores peligrosos del aire.
- ✓ Hay muchas opciones rentables para reducir emisiones del metano mientras que genera energía.
- ✓ Los proyectos ayudan a reducir la contaminación atmosférica local.
- ✓ Los proyectos crean trabajos, ganancias, y ahorros de costo.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el Mecanismo de Desarrollo Limpio dentro del Protocolo de Kioto, el cual presta ayuda a las partes que no están incluidas en

el Anexo I¹⁰ de la Convención (Colombia), en alcanzar el desarrollo sostenible alentando la inversión y la transferencia de tecnologías¹¹.

Además, la normativa ambiental vigente en Colombia provee incentivos tributarios para proyectos de venta de reducciones de emisiones verificadas. La Ley 788 de 2002 introduce modificaciones al Estatuto Tributario, entre ellas dos incentivos para proyectos de reducción de gases de efecto invernadero. El Artículo 18, establece que esta exenta de renta por 15 años, *“la venta de energía con base en los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas, realizada únicamente por las empresas generadoras”*, siempre y cuando el proyecto genere y venda certificados de reducción de GEI y destine a obras de beneficio social el 50% de los recursos obtenidos por este concepto. El Artículo 95, determina que la importación de maquinaria y equipos destinados a proyectos que generen certificados de reducción de GEI estará exenta de IVA. Además, existen interesantes incentivos tributarios para estimular la inversión ambiental en la adopción de tecnologías limpias, como lo son:

- ✓ Exención sobre Impuesto a las ventas: Inversiones en control ambiental (Art. 424-5 y Art. 428 del Estatuto Tributario, Ley 223 de 1995); Uso del gas y generación de energía limpia (Art. 468 del Estatuto Tributario); Exención sobre Impuesto a la renta y complementarios.

- ✓ Incentivos para inversiones en control y mejoramiento ambiental (Art.158- del Estatuto Tributario, Ley 6 de 1992).

¹⁰ Se considera a las partes que no están incluidas dentro del Anexo I del Protocolo de Kioto, a los países en vía de desarrollo que hacen parte en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y que tienen como objetivo principal alcanzar el desarrollo sostenible. Ley 24.295.

¹¹ Respuestas a las preguntas planteadas por un grupo de 77 países y China sobre los mecanismos de flexibilidad. 1998.

2.1. Alcances.

Este estudio se fundamenta en la búsqueda de alternativas rentables de aprovechamiento de biogás, que puede ser utilizado como combustible y al mismo tiempo en la disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Para tal efecto el estudio de viabilidad, permita definir el potencial de rentabilidad de los gases generados en el sitio de disposición final y su real aporte a la disminución de estos gases contaminantes.

El estudio brindará una herramienta de planificación para el uso del sitio de disposición final y su implementación contribuiría en beneficios ambientales, contribuyendo a los objetivos para el desarrollo sostenible del Gobierno Colombiano, de acuerdo con el artículo 4 de la ley 99 de 1993.

2.2. Limitaciones.

- ✓ El estudio está supeditado a la disposición de la información suministrada, a su veracidad y claridad en el proceso de recolección por parte de la empresa EMSIRVA E.S.P, para obtener información con mínimos rangos de imprecisión.

- ✓ Con relación a los sistemas de recolección de biogás, se tiene en cuenta que la eficiencia va entre el 60% y 85% y normalmente, si no existe información sobre la eficiencia específica del sistema de interés, se toma en promedio de 75 % aunque raramente superan este porcentaje. Por lo anterior, cualquiera de los métodos teóricos para estimar el potencial de generación de biogás de un relleno sanitario tendrá altos grados de imprecisión. El único método realmente confiable es la realizar mediciones directas en el campo de

manera continua. El modelo de degradación de primer orden recomendado por la U.S. EPA provee las mejores estimaciones mientras mejor sea la información disponible suministrada para hacer los cálculos. Es por ello que se trabajará con el mínimo del 50% de eficiencia.

- ✓ Por otro lado el aspecto social donde la permanencia de recicladores que laboran dentro del sitio de disposición de Navarro, el cual se aproxima a más de 600 personas¹², pueden inferir en la puesta en marcha del futuro proyecto.

- ✓ Para la implementación del proyectos se prevé barreras políticas basadas en la baja prioridad para los entes municipales; Falta de interés político por el metano; Desconocimiento del potencial del metano; Poco desarrollo del sector Nacional por el contrario del internacional; Falta de conocimientos técnicos; Barreras institucionales como enfoque distinto al del negocio; Condiciones contractuales municipio - operador; Transición de botaderos a rellenos sanitarios.

¹² Dato relacionado en la solicitud de certificación enviada por EMSIRVA E.S.P a la CVC. Marzo del 2006.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general.

- Realizar el 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.

3.2 Objetivos específicos.

- Estimar el uso potencial del biogás generado como fuente de energía.
- Precisar sistemáticamente con Modelos computarizados de la recuperación potencial del biogás en la zona de estudio.
- Cuantificar la recuperación potencial de energía.
- Cuantificar los beneficios ambientales causados.
- Identificar los posibles usos del biogás como fuente de energía.
- Definir los parámetros mínimos requeridos para que el proyecto este dentro de las exigencias establecidas dentro del protocolo de Kioto.

4. MARCO REFERENCIAL.

4.1. Antecedentes del protocolo de Kioto.

4.1.1. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC-.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC-, es el primer instrumento internacional legalmente vinculante que trata directamente el tema del cambio climático. Fue abierta para firmas en la Cumbre de Río (1992)¹³, ocasión en la que 155 países la firmaron, entre ellos Colombia¹⁴.

La CMNUCC tiene como objetivo último: “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.”

Para el logro de este objetivo central, la CMNUCC establece una serie de compromisos –teniendo en cuenta las responsabilidades comunes pero diferenciadas de los países que se han adherido a la misma–, los cuales deben ser primeramente cumplidos por los países cuya responsabilidad histórica en el agravamiento del problema global es más relevante. Los países en desarrollo, como es el caso de Colombia, tienen la responsabilidad de acompañar el proceso de mitigación del calentamiento global. El órgano supremo de la CMNUCC es la

¹³ La cumbre de río de Janeiro es una conferencia sobre el Medio ambiente y el Desarrollo convocada por las Naciones Unidas, celebrada en Río de Janeiro (Brasil) en junio de 1992.

¹⁴ CMNUCC - <http://unfccc.int/2860.php/>.

Conferencia de las Partes (COP), que se reúne periódicamente para impulsar la implementación de la Convención.

La expectativa de que los países industrializados comenzaran a tomar medidas de mitigación que revirtieran la tendencia histórica del aumento en la concentración de GEI en la atmósfera no lograba concretarse. En consecuencia, en la COP 1 (Berlín, 1995) se decidió la redacción de un protocolo con compromisos cuantificados de reducción de emisiones para los países desarrollados.

4.1.2. El Protocolo de Kioto.

En la COP 3, realizada en Kioto en diciembre de 1997, se adoptó el llamado Protocolo de Kioto, instrumento legalmente vinculante que establece, principalmente, compromisos más estrictos de reducción y limitación de emisiones de GEI para los países desarrollados (listados en el Anexo 1 de la Convención), y un calendario determinado para cumplir dichos compromisos. El acuerdo principal fue la reducción conjunta –en al menos un 5%– de las emisiones de GEI para el período 2008-2012, comparadas con los niveles de 1990 (expresadas como emisiones de CO₂ equivalente), en cuotas específicas para cada país desarrollado. El Protocolo de Kioto finalmente entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

4.1.3. Mecanismo para un Desarrollo Limpio -MDL-.

El Mecanismo para un Desarrollo Limpio -MDL- fue establecido en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, y se define como una actividad de proyecto que permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Su propósito es doble. Por un lado, ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, y por el otro, ayudar a los países desarrollados a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y

reducción de emisiones contraídos en Protocolo de Kioto, a través de la transacción de certificados de reducción de emisiones¹⁵.

4.1.4. La Conferencia de las Naciones Unidas para el Cambio Climático - Bali (Indonesia) 2007¹⁶.

En Bali, la ONU convoca simultáneamente la 13ª Conferencia de las Partes (COP13) de la CMNUCC y la tercera reunión de las partes del protocolo de Kioto (MOP3).

La Conferencia de las Naciones Unidas para el Cambio Climático en Bali 2007, inició con buenos augurios al anunciar Australia que firmará el Protocolo de Kyoto y al apuntar hacia el logro de un equilibrio para avanzar en las negociaciones internacionales. La conferencia de dos semanas, la decimotercera de las 192 partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) y el tercero de las 176 partes del Protocolo de Kyoto, tiene entre sus expectativas lograr un acuerdo en las negociaciones sobre el cambio climático para después del año 2012, cuando expira la primera fase del Protocolo de Kyoto.

Un primer acuerdo significativo fue la aprobación de la implementación del "fondo de adaptación", un aspecto central del Protocolo de Kyoto, para financiar medidas y proyectos destinados a mitigar las consecuencias del cambio climático en el Tercer Mundo, para compensar a los países en desarrollo por los bajos ingresos que obtendrán si, en lugar de deforestar y practicar una agricultura de roza, tumba y quema, deciden conservar sus árboles. El fondo proporcionará ayuda a los países en vías de desarrollo para que se adapten a los efectos adversos del cambio climático, como las sequías, las inundaciones y la pérdida de cosechas.

¹⁵ <http://cdm.unfccc.int/> -Mecanismo de Desarrollo Limpio.

¹⁶ http://www.adnmundo.com/contenidos/ambiente/cambio_climatico_ma_111207.html

El acuerdo prevé el desembolso procedente de ese fondo, que ha reunido 67 millones de dólares desde la firma del Protocolo de Kyoto, en 1997, mediante la aplicación de un impuesto del dos por ciento a las transacciones que se realizan en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Este mecanismo contempla que las empresas de las naciones industrializadas puedan cumplir sus obligaciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero financiando medidas de reducción y proyectos no contaminantes en los países pobres.

El fondo es administrado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (Global Environmental Facility, GEF) que los gobiernos donantes establecieron hace 16 años para promocionar proyectos de conservación. El Banco Mundial actúa como administrador, mientras un grupo de 16 miembros integrado por firmantes del protocolo de Kyoto se encargarán de supervisarlos.

La decisión de adaptar el fondo fue la primera relevante del encuentro que pretende establecer una "hoja de ruta" para los debates de los próximos dos años que culminarán en un tratado global de cambio climático en sustitución del Protocolo de Kyoto, que expira en 2012.

4.2 Marco contextual.

Uno de los escenarios propicios para desarrollar estas estrategias sería el sitio de disposición final de residuos sólidos "Navarro", que se encuentra ubicado en el corregimiento del mismo nombre (ciudad de Santiago de Calí), donde actualmente se produce biogás. Este sitio de disposición final es un lote de 42 Hectáreas que lo conforman, actualmente hay 30 hectáreas ocupadas, de las cuales 17 Hectáreas están conformadas por el vertedero antiguo (Cerro antiguo y Cerro Hospitalario) y 13 Hectáreas por los vasos transitorios. Desde 1.969 hasta septiembre del 2.001, los residuos fueron dispuestos en el vertedero antiguo, posteriormente la disposición

se realizó en los vasos transitorios. A los vasos transitorios han ingresado un promedio de 1.667,2 toneladas diarias¹⁷ de residuos sólidos producidos en los municipios de Cali, Yumbo, Jamundí y Candelaria durante el periodo 2002 y 2006.¹⁸

Teniendo en cuenta estos datos y la producción de biogás por material acumulado en el sitio de disposición final “Navarro” por más de 40 años, podemos deducir que ha generado toneladas de metano y dióxido de carbono en el cerro antiguo; Y estimado que para los vasos transitorios (1, 2, 3, 4, 5, 6, C, D, F y otros), a partir del año 2009 hasta el año 2030 se podrían obtener ingresos por concepto de las regalías en la venta de estas emisiones mediante los Mecanismos del Protocolo de Kioto.

4.3 Marco teórico.

Los rellenos sanitarios producen biogás por descomposición de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). El biogás tiene aproximadamente partes iguales de metano y dióxido de carbono y concentraciones minúsculas de compuestos orgánicos no metánicos (NMOC). Ambos componentes principales (metano y dióxido de carbono) son considerados gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global, aunque el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) no considera el dióxido de carbono en el biogás como un GEI (es considerado elemento biogénico y parte natural del ciclo de carbono).

El biogás se escapa del relleno sanitario naturalmente de dos maneras: migración o ventilación por la cubierta. En ambos casos y sin controles ni captura, el biogás (y por ende el metano) saldrá a la atmósfera. El volumen e índice de las emisiones del

¹⁷ Cálculos del autor.

¹⁸ Relleno sanitario de Navarro. www.emsirva.com.

metano de un relleno sanitario están en función de la cantidad total de materia orgánica enterrada en el relleno, su contenido de humedad, temperatura, técnicas de compresión, tipo de residuos y tamaño de partículas. Aunque el índice de emisión de metano declinará después de la clausura del relleno sanitario éste continuará produciendo metano (30 años o más) después del cierre.

Sin embargo, el metano presente en el biogás es considerado un GEI. Por lo tanto, la captura y combustión del metano (su transformación final a dióxido de carbono y agua) vía un quemador, generador, caldero u otro aparato resulta ser una reducción significativa de las emisiones de gases invernadero.

Un método común para controlar las emisiones del biogás es la instalación de un sistema de colección y control del biogás. Estos sistemas tienen un dispositivo diseñado para la destrucción del metano y compuestos orgánicos volátiles (COV) antes de ser emitidos a la atmósfera. De hecho, el metano es mucho más potente como GEI que el dióxido de carbono con un potencial de calentamiento 21 veces más que el CO₂.

El biogás de buena calidad (aquel con alto contenido de metano y bajos niveles de oxígeno y nitrógeno) es utilizado como combustible para desplazar el uso de combustibles convencionales. El valor de calentamiento del metano está entre los 400 y 600 Btus (Unidad térmica británica) por pie cúbico estandarizado (scf), el cual es la mitad del valor del calentamiento de gas natural. Hay cientos de instalaciones de recuperación de energía de biogás actualmente operando en los EEUU. Los usos del biogás pueden ser: generación eléctrica, combustible de calderas, transformación a gas de alto Btus, y como combustible de vehículos.

Hace algunos años, en América latina países como Argentina, Brasil y Chile vienen desarrollando proyectos de utilización del biogás; particularmente en Colombia no

se han generado muchos proyectos de este tipo, desaprovechando esta importante fuente de energía, pero si mediante proyectos de reducción de emisiones contaminantes a través de los mecanismos establecidos en el protocolo de Kioto.

4.4. Marco conceptual.

Actualmente, las circunstancias para al aprovechamiento del biogás están dadas y con altas probabilidades de poderse llevar a cabo debido a que los entes gubernamentales Nacionales e Internacionales que basan su economía y desarrollo a partir de combustibles fósiles, han adquirido compromisos legales globales para buscar alternativas de energías renovables que disminuyan la emisión de GEI. Estos Protocolos y sus mecanismos muestran las facilidades comerciales, legales, técnicas y tecnológicas para llegar a cumplir las metas de reducir emisiones. Para países en desarrollo el biogás tiene mucha importancia en relación a su comercialización y como mecanismo desarrollo sostenible; y en los industrializados está aumentando la atención por este combustible para intentar reducir la dependencia actual del petróleo.

El aprovechamiento del biogás inicia a partir del tipo de residuo sólido depositado en el relleno, y estimado por la simulación de los Modelos en función del tiempo de disposición, esto representa el uso potencial para aplicaciones energéticas, lo que amplía la oferta, agrega experiencia y desarrollo tecnológico sobre el uso de energías no convencionales.

El aprovechamiento o uso del biogás se remonta a la descomposición de los residuos orgánicos, como el estiércol animal o los productos de desecho de los vegetales que se utilizaban en las fincas o potreros, con el fin de suministrar suficiente combustible para generar energía a dichas instalaciones.

Hoy en día, las condiciones de aprovechamiento del metano que hace parte del biogás como fuente de energía y del dióxido de carbono para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, hacen considerar los estudios para la implementación de un proyecto de captación y/o uso de biogás de rellenos sanitarios, asociadas con la cadena productiva de la generación de RSU muy rentable e interesante. En este sentido, se deben evaluar cuidadosamente todos los componentes - que van desde los entornos geográficos donde está ubicado el relleno hasta la idiosincrasia de producción y consumo de bienes y servicios - para que se constituyan en un soporte sólido que sirva como insumo para el diseño de la ingeniería de proceso y la ingeniería de detalle de los proyectos. Esta dinámica ha generado una oferta tecnológica en continuo desarrollo, con particularidades. Es así como se han desarrollado experiencias exitosas.

Hoy en el mundo, la utilización del biogás para su utilización en micro turbinas para generación eléctrica, cada vez está ganando más aceptación sobre las otras aplicaciones. En los Estados Unidos hay aproximadamente 2,000 sitios en los cuales están funcionando rellenos sanitarios, están en construcción o están en etapa de diseño o están clausurados. De estos rellenos, en 325 se realiza algún tipo de aprovechamiento del biogás y por lo menos 500 más son candidatos para el desarrollo de un proyecto de aprovechamiento. (U.S. E.P.A. 2005).

Entre los países con proyectos exitosos de utilización del biogás como energético, se tienen Argentina, Brazil, Italia, Reino Unido, España, Holanda, Francia, México y Estados Unidos. En Colombia el uso del biogás bajo proyectos MDL, históricamente, como proyectos demostrativos existen ocho ejemplos en diversas etapas de estudio o implementación, que suman un potencial de reducción de 427,832 toneladas de CO₂ equivalente / año¹⁹.

¹⁹ Ciro Serrano Camacho. Alternativas de utilización de biogás de rellenos sanitarios en Colombia.2006.

La importancia de la recolección y equivalencia a CO₂, y su incidencia en el calentamiento global por su carácter de gas de efecto invernadero, se deduce del Potencial de Calentamiento Global (GWP). El Tiempo de vida en la atmósfera (años) para el CO₂ es de 50 – 200 años con GWP en un horizonte de 90 es de 1 y el Tiempo de vida en la atmósfera (años) para el CH₄ es de 12 con un GWP, en un horizonte de 90 años es de 21²⁰.

La experiencia exitosa de proyectos pequeños de rellenos sanitarios, y el desarrollo progresivo para contextualizar los Modelos de generación de la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA U.S) a entornos diferentes a Estados Unidos, ha generado propuestas importantes de cuantificación del potencial del biogás, lo cual debe articularse con los precios de los energéticos y los criterios de Kyoto para, por lo menos, apalancar financieramente los proyectos de captación y quemado del biogás.

4.5. Marco jurídico.

En Colombia, como respuesta a la Convención de Cambio Climático y al Protocolo de Kioto, se han desarrollado estrategias legales como son las siguientes:

- La Ley 164 de 1994, mediante la cual el Congreso de la República de Colombia aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, cuyo objetivo es la estabilización de concentraciones de gases efecto invernadero – GEI en la atmósfera, a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.
- La sesión número XIX del Consejo Nacional Ambiental, realizada el 16 de Julio de 2002 en Bogotá D.C., en donde se aprobaron los “Lineamientos de

²⁰ IPCC, 2001, Syntesis Report, p. 189.

Política de Cambio Climático”, cuyo objetivo es identificar las estrategias requeridas para consolidar la capacidad nacional necesaria que permita responder a las posibles amenazas del cambio climático; y a las disposiciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto, en función de potencializar las oportunidades derivadas de los mecanismos financieros y cumplir con los compromisos establecidos. Una de las estrategias, es la de: “1. Definir y poner en marcha el marco institucional para el régimen Nacional de Cambio Climático ...”.

- El documento CONPES 3242 del 25 de agosto de 2003 con la “Estrategia Institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático” recomendó: Solicitar al Consejo Nacional Ambiental la creación del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático, el cual orientará y elaborará propuestas relacionadas con la mitigación de la Política Nacional de Cambio Climático en los temas de reducción y captura de emisiones de gases de efecto invernadero y la comercialización del servicio asociado; y actuará como órgano consultivo del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en la Aprobación Nacional de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL.

- Sesión número XX del Consejo Nacional Ambiental del 29 de agosto de 2003, aprobó la creación del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación de Cambio Climático, con base en unos miembros permanentes principales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Departamento Nacional de Planeación y COLCIENCIAS) y unos miembros temáticos de acuerdo con el proyecto que se trate. Dentro de esta misma sesión, el Consejo Nacional Ambiental solicitó al Ministerio de Ambiente, Vivienda y

Desarrollo Territorial la elaboración del reglamento de este Comité Técnico. Dentro de las funciones del CTIMCC esta Hacer el seguimiento de la implementación del Mecanismo de Desarrollo Limpio en el país; Proponer la estrategia para la consecución de recursos nacionales o internacionales para desarrollar los programas y/o proyectos para la mitigación del cambio climático y adelantar estudios y análisis previos de aspectos específicos de la temática, según los requerimientos que se establezcan.

- Con base en lo anterior, y lo ordenado en el Plan Nacional de Desarrollo (Ley 812 de 2003), en su artículo 8, sobre descripción de los principales programas de inversión, incluye dentro del componente de sostenibilidad ambiental, la promoción de proyectos de reducción y captura de gases de efecto invernadero; se hace necesario la creación y puesta en marcha de las instancias requeridas para lograr la comercialización y venta del servicio ambiental de reducción de emisiones.
- El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial solicitó al Ministerio de Relaciones Exteriores su designación como Autoridad Nacional para el Mecanismo de Desarrollo Limpio -MDL-, hecho que configuró mediante la nota consular del 22 de mayo de 2002, radicada DM/VAM/ CAA 19335 dirigida a la Secretaria de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- En desarrollo de este objetivo, el Protocolo de Kioto, aprobado por el Congreso de la República de Colombia mediante la Ley 629 de 2000, fija obligaciones cuantificadas de reducción de emisiones de gases efecto invernadero - GEI- para países desarrollados que figuran en su Anexo "B". El Protocolo establece que estas reducciones deberán ser reales y alcanzadas

dentro del primer periodo de compromiso comprendido entre los años 2008 al 2012.

- La resolución número 0453 de abril 27 de 2004 “Por la cual se adoptan los principios, requisitos y criterios y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL-”.
- La resolución número 0454 de abril 27 de 2004. “por medio de la cual se regula el funcionamiento del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación Climático del Consejo Nacional Ambiental.

En conclusión, El Mecanismo de cumplimiento del protocolo de Kioto ha empezado a ser operativo, finalmente, en el año 2006, casi diez años después de su previsión en el artículo 18 del Protocolo de Kyoto, y constituye actualmente el más elaborado de los regímenes de control de cumplimiento previstos en los convenios internacionales vinculados con la protección del medio ambiente.

5. DISEÑO METODOLÓGICO.

El estudio sigue el siguiente procedimiento para analizar la información recopilada y realizar así sus conclusiones cuantitativas y cualitativas:

5.1. Fase de diseño.

5.1.1. Recopilación, sistematización y análisis de la información recopilada de las fuentes secundarias.

Con el apoyo de la empresa prestadora de servicio público de la ciudad -EMSIRVA E.S.P-, se recopiló información de los registros de ingresos de residuos dispuestos anualmente en el relleno transitorio de Navarro, de los cuales se realizó una serie de procesamiento de datos cuantitativos y cualitativos con el fin de obtener el porcentaje de residuos dispuestos (año y vaso de disposición) por tipo de residuo y muchos más que se relacionan con el estudio.

Además de la información de los registros de ingresos de residuos dispuestos entregada por la empresa -EMSIRVA E.S.P-, se estudiaron documentos técnicos, medios de prensa, folletos informativos, hojas cálculos, estudios de casos similares, software aplicados y documentos académicos relacionados con el área de estudio, entre otros.

5.2. Fase de codificación o recopilación de los datos.

Inicialmente se realizó un análisis global de los residuos dispuestos según el tipo y la distribución en el Departamento del Valle del Cauca, arrojando así información cuantitativa de su disposición en Navarro. (Ver tabla 1).

De los residuos sólidos de origen domiciliarios e industriales que van a Navarro u otro sitio, se pudo establecer el porcentaje de residuos que se disponen (Ver tabla 2).

En el sitio de disposición de Navarro, fueron registrados el ingreso durante el periodo 2002-2006 un promedio de basura mensual provenientes de más de 40 clientes, incluido las propias de la recolección de la empresa EMSIRVA E.S.P, que aportaron residuos al lugar (Ver tabla 3).

La investigación conlleva a describir los residuos mas a fondo para poder saber cual son aportante al proceso de gasificación. El resultado arrojado se describe en las tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 donde se observara las cantidades de residuos putrescibles²¹ (orgánicos, restos de podas .etc) que alcanzaran un porcentaje menor o mayor de los residuos de tipo ordinarios, clínicos, especial, rechazos industriales, sólidos urbanos, limpieza de vías, tierra y escombros. Esta caracterización de los residuos sólidos dispuestos en Navarro (Ver gráfica 7) dará un claro diagnostico que respalde la producción de biogás y su calidad energética.

Los datos necesarios para cuantificar el biogás producido para cada vaso utilizado entre los periodos 2002 y 2008 nos llevan a realizar la descripción específica de las fechas de inicio y cierre de cada vaso. Este proceso nos llevara a disminuir el rango de error de datos y determinar con claridad el biogás producido en un periodo y sitio de emisión (vaso).

²¹ La materia orgánica degradable puede variar y en general es altamente putrescible en países en desarrollo. Esto afecta la estabilización y la producción de metano de 10 - 15 año para estos países. Factores asociados a la generación de biogás. www.epa.gov.

Los resultados nos llevan a definir la cantidad de residuos dispuestos, el tipo de residuo y el porcentaje de residuo que aportan más al proceso de gasificación (Ver tabla 10).

Se obtuvo la cantidad dispuesta para cada vaso, partiendo desde la fecha de inicio y de cierre del mismo. A estos datos se le realizó una aproximación por casos donde se almacenaron mayores toneladas dispuestas que las proyectadas para cada vaso (Ver tabla 11).

Como parte del estudio se recopiló información que se sistematizó, reuniendo así datos concernientes y adicionales necesarios para realizar el presente estudio (Ver tabla 12).

5.2.1. Estimación sistemática con modelos computarizados de la recuperación potencial del biogás en la zona de estudio.

Luego de la recopilación, análisis, tabulación y de calcular datos cuantitativos y cualitativos de la producción de residuos, aspectos hidrometeorológicos y del inicio de actividades en los vasos en Navarro, entre otros, se procedió a utilizar dos modelos matemáticos como son:

1. Modelo matemático recomendado por Program Landfill Methane Outreach y Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA).
2. Modelo matemático aplicado a la basura de Cali dispuesta en Navarro desde el 1º de septiembre de 1970, por el ingeniero Héctor Collazos Peñalosa, el cual denomina CORENOSTÓS²².

²² La denominación CORENOSTÓS viene del griego *Corema*, que significa lo que resulta al barrer (basura, recogida ordenadamente, y limpieza, que es lo que subraya el término) y *Nostós*, relleno.

5.2.1.1 Modelo propuesto por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA U.S.).

Este Modelo fue desarrollado por SCS Engineers para el Programa Landfill Methane Outreach de la EPA U. S. y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos -USAID-. Este Modelo matemático²³ utilizado para calcular la generación de biogás se elaboró en una hoja de cálculo en Excel y está basado en una ecuación de degradación de primer orden. Este modelo se alimentó con los datos específicos tales como el año de apertura, año de clausura, índices de disposición anual, precipitación promedio anual y eficiencia del sistema de recolección. El Modelo proporcionó automáticamente valores para el índice de generación de metano²⁴(k) y la generación potencial de metano²⁵ (L_0). Estos valores se desarrollaron usando datos específicos del sitio de disposición final y la relación de entre los valores de k y L_0 , y la precipitación promedio anual en la zona de estudio. Los valores de k y L_0 varían dependiendo de la precipitación promedio anual y pueden utilizarse para producir proyecciones de generación de biogás para rellenos sanitarios municipales localizados en las diferentes regiones, como lo Centro América y México²⁶.

²³ Para el desarrollo de este Modelo, se evaluaron otros modelos incluyendo el Modelo Mexicano de Biogás, el Método AM0025 v.3 (Marzo del 2006) del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el 2006 Waste Model del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC).

²⁴ k es la constante que determina el índice de generación de biogás estimado. El modelo de degradación de primer orden asume que los valores de k antes y después de la generación máxima de biogás son iguales. El valor de k esta en función del contenido de humedad y la disponibilidad de nutrientes, pH, y temperatura. (Unidad = 1/año).

²⁵ L_0 es la constante del modelo que representa la capacidad potencial para generar metano (componente principal del biogás) del relleno sanitario. L_0 depende de la cantidad de celulosa disponible en los residuos. (Unidad = m^3 / Mg).

²⁶ Agencia para la Protección del Ambiente (EPA U.S.).

La alimentación del Modelo se efectuó en la Hoja de Alimentación donde las celdas se alimentaron con valores específicos. Los siguientes valores fueron alimentados para obtener resultados aceptables²⁷:

Paso 1: Nombre y lugar del relleno sanitario. Lo que se alimentó en esta celda apareció automáticamente en el encabezado de la hoja de resultados en forma tabular.

Paso 2: El año de apertura. Lo que se alimentó en esta celda fue usado para establecer los años de disposición en las hojas de resultados.

Paso 3: Precipitación promedio mensual en mm/año en la región donde se ubica el relleno sanitario. Este valor obtuvo investigando datos de precipitación para Cali en la estación meteorológica más cercana al relleno sanitario. Este valor determinó automáticamente los valores de k y Lo.

Paso 4: Toneladas dispuestas por año. Se realizaron los cálculos concernientes para alimentar la celda basado en los registros de residuos dispuestos en los vasos transitorios de Navarro. Se ingresaron los datos de octubre, noviembre y diciembre del 2001.

Paso 5: Estimación de la eficiencia del sistema recolección. Esta eficiencia se estimó con base en las características técnicas de Navarro²⁸.

Paso 6: Recuperación actual en metros cúbicos por hora (para rellenos sanitarios con sistemas de recolección activos). Se ajusto todos los flujos a 50% de metano,

²⁷ Manual del usuario Modelo versión 1.0. 2003.

²⁸ Esta eficiencia fue estimada por la EPA en un 68% en el 2006. Dato que se corroboró mediante la utilización de la tabla de eficiencias de recolección en rellenos sanitarios de la EPA U.S.

multiplicando el flujo por el contenido de metano en el biogás y luego dividiendo el resultado por 50%.

5.2.1.2. Modelo CORENOSTÓS²⁹.

El modelo está construido para aplicación inmediata con basura de tipo doméstico. Para utilizarlo con otros tipos de basura se deben efectuar los cambios correspondientes en las composiciones física y química.

Este Modelo tiene como objetivo prever la cantidad de lixiviados³⁰ y gases que va a arrojar un relleno sanitario. El autor hace énfasis que los resultados serán aproximados solamente en la medida en que lo son los datos de entrada. Por tanto, con datos ciertos, el Modelo permite discernir la exactitud de los otros. Permite observar las variaciones de cada variable, manteniendo control sobre las demás.

Es poco probable que los datos de entrada para algo tan eminentemente heterogéneo como la basura, sean exactos. Mas no por eso el modelo en sí deja de pretender ser preciso. (Collazos Héctor. 2004).

El programa del Modelo CORENOSTÓS consta de dos hojas en Excel. En la primera, "*Básica*", entraron las condiciones permanentes del proceso y se calculó la cantidad de biogás y lixiviados que produce una unidad (tonelada o gramo) de basura, de tipo doméstico, en las condiciones concretas de tal basura. En la segunda, "*Mensual*", operan las cantidades que varían de un mes a otro (por lo menos el acumulado de basuras) y ofrece resultados mes a mes.

²⁹ CORENOSTÓS es un Modelo inicialmente concebido por los Ingenieros Alejandro Ospina Torres (q.e.p.d.) y Héctor Collazos Peñaloza y posteriormente retomado y replanteado por el Físico Jaime Echeverri Torné y el Ingeniero Héctor Collazos Peñaloza. Guía para el uso del Modelo CORENOSTÓS. 2002.

³⁰ Líquido que se produce en un relleno sanitario y que proviene de la descomposición de la basura dentro del relleno.

Este modelo se aplico teniendo como base publicaciones que anteceden este estudio y las variables diversas que maneja, aportando a disminuir el rango de error en la estimación de biogás para Navarro y corroborar los cálculos realizados.

5.3. Resultados obtenidos.

5.3.1. Información secundaria.

Del análisis de la información recopilada, desarrollada y luego tabulada, se realizó el siguiente análisis:

- ✓ En Navarro han ingresado el 82% de los residuos generados en el Departamento del Valle del Cauca, que representan una fuente importante en cantidad - para generar el biogás - y en su calidad por ser gran parte de tipo orgánico, además de centrar el foco de emisión y de disminuir el peligro por dispersión en el manejo de las basuras.
- ✓ Se pudo observar que los residuos orgánicos netos que contribuyen a la producción del biogás son equivalentes al 71,5 % de todos los residuos que ingresan a Navarro.
- ✓ Las empresas más portantes de residuos a Navarro son particulares de la Ciudad de Cali que representan un 49% del total, a diferencia de las empresas prestadoras de servicios públicos de la ciudad que solo constituyen un 17%.
- ✓ Los residuos dispuestos en los vasos transitorios durante el año 2002 y el 31 de enero del 2008 son predominantes de origen domestico (69,1%), aspecto que favorece la producción de CO₂ y CH₄.
- ✓ Los residuos con alto grado de putrefacción dispuestos en los vasos transitorios de Navarro que se degradarán entre el 2002 y el 2010 equivale al

80% del total, mientras que los residuos de degradación variada se descompondrán a finales del 2012 (1,2% del total) y los residuos como cartón, madera y cuero se degradarán hasta el 2028.

- ✓ Los resultados obtenidos en la tabla 2, hace referencia al 65,8% de las 2,739 ton / día³¹ que ingresa a Navarro (2007) en el concepto de residuos domiciliarios e industriales.

- ✓ La capacidad inicial para los vasos A y F es de 209,000 m³ para un tiempo de 128 días (4 meses, 8 días), para el mes de marzo del 2006 el Vaso F es de 50,000 m³ para un tiempo de 30 días y para el vaso A es de 130,000 m³ para un tiempo de 79 días (2 meses, 19 días). Hasta la fecha, las alturas proyectadas se están replanteando debido a que se han dispuesto residuos entre algunos los vasos, punto a tener en cuenta para estimar la cantidad dispuesta entre ellos y su aporte de biogás.

³¹ Cálculos del Autor basado en Plan de Gestión Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca 2002-2012.

5.3.2. Resultados de las Modelaciones.

5.3.2.1. Modelo propuesto por la Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA).

- ✓ Se desarrollo la información concerniente para los vasos 1, 2, 3, 4, 5, 6, C y D, para los cuales se estimó la generación de biogás y se interpreto su comportamiento con relación al tiempo (ver en anexos de tablas y gráficos para cada vaso).

- ✓ El lugar donde mayor producción de biogás se generará - periodo 2009 y 2025 - será en los vasos 5,6 y C ($14.007 \text{ m}^3 / \text{hr}$), seguido del vaso D donde se consideró unos $8.571 \text{ m}^3 / \text{hr}$, y donde menor producción se genera es el vaso A ($961 \text{ m}^3 / \text{hr}$). Por otro lado, Se debe hacer claridad que al no referirse a otros vasos se debe a que la ubicación actual sed a entre vasos existentes, ampliación de vasos u otros nuevos, pero si se tienen en cuenta en el aporte de biogás correspondiente.

- ✓ Las estimaciones concluyentes parte de las 3'754.973 de toneladas de residuos acumulados en Navarro entre el mes de octubre del año 2001 al 31 de enero del 2008, para las cuales se proyectó que generarán $38.967 \text{ m}^3 / \text{hr}$ de biogás (ver tabla 16 y gráfica 5).

- ✓ Durante el periodo 2005 al 2006 se proyecto que se generaron $5.413 \text{ m}^3 / \text{hr}$ de biogás y $3.681 \text{ m}^3 / \text{hr}$ de metano.

5.3.2.2. Modelo CORENOSTÓS.

- ✓ La utilidad de este modelo fue muy útil por arrojar datos específicos de la caracterización y cuantificación del biogás, entre los cuales se obtuvo que 5.248,4 m³ / hr. (3089,1 ft³/ min.) de biogás; 2.783,8 m³ / hr. (1638,5 ft³/ min.) de metano y 2.441,5 m³ / hr. (1437,01 ft³/ min.) de CO₂³², para el periodo 2005 al 2006.
- ✓ Durante el periodo de estudio realizado por el autor del Modelo CORENOSTÓS, en los cuales determino que para los vasos 1, 2 y 3 se producen 2.189,4 m³ / hr; vaso 4 se produjo 808,09 m³ / hr y 2.248,9 m³ / hr para el vaso D³³.

Estos datos fueron corroborados al correr dicho Modelo y alimentado con los datos procesados del registro de residuos sólidos que ingresaron a Navarro en ese tiempo.

5.3.3. Cuantificación de la recuperación potencial de energía.

Estos datos fueron estimados por dentro del procesamiento de datos del estudio:

- ✓ A partir de los datos de recuperación de biogás del sistema de recolección planeado, se estimo la energía bruta y el flujo de corriente eléctrica con potencialidad de aprovechamiento (ver tabla 17).

³² Cálculo de la producción de gases y lixiviados en el sitio de disposición final de las basuras de Cali (Navarro) y otros estudios realizados por el Ing. Héctor Collazos Peñalosa.

³³ Cálculo de la producción de gases y lixiviados en el sitio de disposición final de las basuras de Cali (Navarro) y otros estudios realizados por el Ing. Héctor Collazos Peñalosa.

- ✓ Dentro del aspecto energético para el País, se debe tener en cuenta que las acciones específicas del Plan Energético Nacional 1997-2010 se propone la implantación de programas pilotos para aplicación de fuentes alternativas de energía, que es un elemento básico para los procesos de desarrollo rural.
- ✓ Se calculó que el promedio de energía bruta generada por el biogás de Navarro durante el 2009 y el 2025 sería de 330.914 GJ /año, el cual tendría una potencia de promediada de 14 caballos de fuerza (hp).
- ✓ El flujo de compuestos orgánicos no metánicos-NMOC- que se emitirán durante el 2009 y 2025 sería de 17 ft³/ min.
- ✓ El biogás promedio neto que podría aprovecharse a partir del 2009 hasta el 2025 será de 64.758,6 ft³/ min.
- ✓ El contenido energético del biogás de Navarro se estimó en 4.302,9 Kcal /m³, presumiendo un valor de 50% de metano, 49% de CO₂ y 1% de NMOC. De esta forma se clasifica como un “biogás rico” que puede ser utilizado en operaciones rentables de plantas modulares para generar energía y calor combinados³⁴. Se debe tener en cuenta que a mayor poder calorífico del biogás, mayor posibilidad de utilizarlo con fines de aprovechamiento en la generación de energía.
- ✓ La capacidad instalada de generación de energía bruta del flujo de biogás que puede soportar Navarro se valoró en un máximo de 174 Kw y un mínimo de 61 Kw para los motores de combustión interna, mientras que

³⁴ Datos estimado con base en la tabla de datos técnicos y opciones de tratamiento de gas de relleno sanitarios de la GTZ.

para turbinas de ciclo combinados 245 Kw y 86,7 Kw como pico y mínimo respectivamente durante el año 2009 y el 2025.

- ✓ El mejor aprovechamiento para generar energía es la instalación de turbinas de ciclo combinado, debido a que son más eficientes y generarían un total de 19,32 Mwh durante el periodo estimado, debido a que la posible instalación de motores de combustión interna generaría un total de 14,27 Mwh durante el mismo periodo.
- ✓ La electricidad promediada anual neta proyectada durante el 2009 al 2025 sería de 1'976.229,7 Kwh, teniendo picos de 3,2 Mwh. y cuevas mínimas de 1,1 Mwh.
- ✓ Se estimo que el biogás generado durante el 2009 y 2025 en Navarro (con 50% volumen en metano) tiene una equivalencia con tres combustibles de 170'740.890,6 m³ de gas natural; 251'046.987,4 litros de propano; 223'675.389,8 litros de butano; 164'350.165,1 litros de fuel oil y 71'142.037,73 kilogramos de carbón bituminoso, por cada 28.32 m³ del biogás. Se debe tener en cuenta que usar directamente el biogás para compensar el uso de otro combustible como el gas natural, carbón, fuel-oil, está ocurriendo en cerca de la mitad de los proyectos actualmente operacionales.

5.3.3.1 Modelo propuesto por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA U.S.).

La gráfica numero 6 (Ver anexos gráficas), estima la generación de Biogás disponible en relación con la energía térmica disponible durante el periodo del 2005 y 2025. (EPA U.S. 2007).

5.3.3.2. Modelo CORENOSTÓS.

- ✓ El modelo CORENOSTÓS no está diseñado para calcular la cantidad de energía potencial que se puede aprovechar, pero caracteriza los componentes disponibles (Hidrógeno, Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, Azufre, Cenizas) del biogás por cada tonelada de residuo dispuesto según su característica (putrescible, papel, cartón, textiles y jardinería) y el porcentaje de descomposición en el tiempo. Aspectos muy importantes para determinar la calidad del metano generado, teniendo en cuenta la partir de la caracterización de los residuos sólidos dispuestos en Navarro durante el tiempo de apertura del sitio.

5.3.3.3. Resultados de la caracterización de los residuos sólidos.

A mayor porcentaje de residuos orgánicos más rápido se genera biogás, es por ello que la caracterización de los residuos sólidos dispuestos en Navarro es una información crucial en la toma de decisiones. En este sentido se pudo observar que:

- ✓ La gráfica número 7, nos lleva analizar que el mayor porcentaje de residuos de tipo domiciliario dispuestos durante 5 años alcanzó un porcentaje del 69%, y que estos y otros tipos de residuos orgánicos alcanzarían hasta un 80,75% que aportan potencialmente a la producción de biogás y aumentando la calidad de el mismo. Se debe tener en cuenta que la degradación rápida de desechos vegetales y alimenticios se presenta de 1,5 a 2 años, la degradación media de 5 a 10 años; y la degradación lenta de cartón, madera, cuero de 10 a 20 años o más³⁵.

³⁵ Factores asociados a la generación de biogás. FUNIBER.2006.

5.3.4. Cuantificación de los beneficios ambientales causados, debido a la reducción de emisiones a la atmósfera con el paso del tiempo.

Se utilizó la herramienta sistemática recomendada por la Agencia Protectora para el Medio ambiente de los Estados Unidos (EPA U.S.) para estimar las proyecciones de los beneficios ambientales y energéticos del biogás durante el periodo 2009 - 2025 por la reducción de emisiones, el cual determinó los siguientes resultados a partir de los 22.935,1 ft³ / min (38.967 m³ /hr) de biogás generados en ese periodo:

- ✓ Reducciones de emisiones equivalentes directas (reducción de metano emitido directamente por el biogás), es equivalente a 2,4286 millones de toneladas métricas de CO₂ equivalente por año y unas 127.478 toneladas de metano por año.

- ✓ Emisiones fugitivas equivalentes directas (compensa de dióxido de carbono que sale por el uso de combustible fósil), es equivalente a 0,2860 millones de toneladas métricas de CO₂ equivalente por año y 315.240 toneladas de metano por año.

Con relación a los beneficios ambientales y energéticos anuales por reducción de emisiones equivalentes directas se determino:

1. Remoción de emisiones equivalente a 469.657 vehículos.
2. Plantado de 270.840,2 hectáreas de bosque.
3. Previniendo el uso de 5.695.840 barriles de aceite.
4. Sustituyendo el uso de 267.704.496 galones de gasolina.

Para el caso de los beneficios ambientales por reducción de emisiones fugitivas equivalentes directas se estimo:

1. Remoción de emisiones equivalente a 55.305 vehículos.
2. Plantado de 31.893,2 hectáreas de bosque.
3. Previniendo el uso de 670.723 barriles de aceite.
4. Sustituyendo el uso de 31.523.978 galones de gasolina.

En la Tabla 18 se resumen los beneficios ambientales anuales totales proyectados 2009-2025 y los beneficios ambientales estimados por la quema de biogás están estipulados en la grafica 8³⁶.

5.4. Validación y comparación de datos.

Los resultados arrojados por los dos Modelos matemáticos utilizados se comparan a continuación.

La Agencia para la Protección ambiental de Estados Unidos EPA. U.S, estimo preliminarmente por modelación que durante el año 2005 al 2006 una producción de biogás de 5.303 m³ / hr con un 50% de biogás aprovechable para el 2008³⁷. Estos datos se compararon con los resultados del presente estudio, que se estimaron en 5.413 m³ / hr para el mismo periodo, donde su semejanza es mayor en 2% del estimado por la EPA U.S. Esta confrontar se realizo con el objeto de corroborar con otros estudios realizados.

Con relación al modelo CORENOSTÓS, que se basa en un método simple y usado en varios casos, da resultados con buena aproximación si las condiciones de

³⁶ Documento visita preliminar a Navarro. E.P.A U.S, 2007.

³⁷ Landfill biogas project opportunity. El Navarro Landfill. 2007.

descomposición son óptimas. se debe aclarar que por estar basado en el método de balance de masa y producción teórica de gas, donde no incluyen factores temporales, considera que las emisión de metano se producen inmediatamente y que produce estimaciones razonables si la cantidad y composición de residuos han sido constantes o cambian lentamente, de otra manera se obtendrán tendencias erróneas. El rango de precisión entre los datos del presente estudio y el Modelo utilizado aumenta, debido a que este método estima que el biogás esta compuesto de un 53% de metano³⁸ y la estimación realizada por el presente estudio asume el 50% de metano. Por otro lado, los datos utilizados con relación a la fuente de los datos metereologicos utilizados afecta el resultado. Aun así, sus índices de semejanza es menor en 1% con relación al estimado por la EPA. U.S. (5.248 m³ / hr para el mismo periodo).

Para el caso de datos metereologicos secundarios suministrados por otros entes, el IDEAM considera que no se utilice los datos entregados por la instalación hidrometeorológica de la Universidad del Valle que esta bajo el control del IDEAM, considerando inconveniente la utilización de datos metereologicos para el estudio, debido a que no ha cumplido con requerimientos técnicos y falta de datos estacionales, aunque la estación se ubique dentro del área de estudio (aprox. a 9 Km.). Es por ello que recomienda los datos oficiales para la ciudad de Santiago de Cali medidos en la estación del IDEAM ubicada en el aeropuerto “Alfonso Bonilla Aragón” que se encuentra aprox. a 20,6 Km. sean los utilizados, para no comprometer los cálculos realizados en el presente estudio³⁹. Estos datos utilizados son coincidos y concuerdan con los arrojados por la estación metereológica ubicada en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, que ubica aproximadamente a 7,3 Km. del área de estudio.

³⁸ Por ser un modelo que utiliza el balance de masa y producción teórica de gas. Dato corroborado con cálculos.

³⁹ Oficio entregado por el IDEAM. Primer trimestre 2008.

6. USOS POSIBLES DEL BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA.

Actualmente, el biogás que se produce en Navarro se quema y en otros casos escapa al aire debido a fugas que presenta en el sistema de recolección, este gas puede ser capturado o convertido para ser utilizado como fuente de energía. Al usar este compuesto se ayuda a reducir algunos olores característicos que se presentan en algunas temporadas del año en sectores cercanos, debido a que el viento lleva estos gases hacia el sur de la ciudad.

El sistema de drenaje del biogás en Navarro, esta constituido por chimeneas de extracción cada 40 metros en sentido transversal y cada 10 metros en sentido longitudinal que poseen forma cilíndrica de 1,0 metro de diámetro y se construyen con malla electro soldada calibre 4 mm y piedra de diámetro entre 15-30 cm. Estas se prolongan conforme aumente el nivel de la basura al interior del vaso, la instalación de la antorcha definitiva, se lleva a base de hormigón⁴⁰. Esta red es muy útil debido a que el material orgánico recibido en Navarro es mayor al 60% -que producen gases fermentables-.

El biogás en Navarro puede ser utilizado directamente para generar electricidad extrayéndolo de la serie de pozos (compuesta por 71 unidades), que se pueden interconectar en un punto central donde se pueda procesar el biogás como combustible, implementando un sistema de filtros de purificación para mejorar su calidad⁴¹; luego este flujo podrá ser dirigido hacia un compresor conectado a un motor (de C.I.) que puede funcionar con diesel⁴² (este biogás puede reemplazar hasta el 80% del a.c.p.m.) que generará el flujo eléctrico, que deberá ser llevado a un

⁴⁰ Programa de monitoreo del vertedero antiguo y relleno transitorio de Navarro. Octubre 2001.

⁴¹ Los contaminantes presentes en el biogás pueden causar corrosión, abrasión y desgaste excesivo de las cámaras de combustión.

⁴² La baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad del a.c.p.m. en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión.

transformador y luego a la red eléctrica local o regional o en mejor caso para consumo propio o aledaño (este biogás podrá ser utilizado para cocinar en combustión directa en estufas simples). Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación o calefacción.

Los resultados de este estudio arrojo que los beneficios energéticos -basado en la proyección numérica equivalentes del biogás- estimó que en la relación de casas con calefacción dando como resultado 74.690 de estas viviendas, durante el periodo que se le estimó su aprovechamiento.

Para el caso de aprovecharlo con el uso de motores a gasolina, el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma, pero para Navarro se propone inicialmente utilizar motores diesel, considerando que se trata de un motor más resistente, se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural⁴³ y se encuentran disponibles en diferentes tamaños, lo que pueden irse adicionando al sistema respondiendo a los incrementos en la generación de gas. Además, Este tipo de motores son eficientes y más baratos que otras alternativas y se recomiendan para aquellos proyectos capaces de generar entre 1 y 3 MW. La oferta de generadores para proyectos de este tipo varía entre los 800 kW y los 3 MW, sin embargo hoy en día proyectos menores también están utilizando motores de combustión interna⁴⁴.

La EPA señala que actualmente se pueden instalar microturbinas desde 30 kW a 100 kW, lo que hace posible que rellenos sanitarios pequeños también puedan generar energía eléctrica o reducir emisiones. Para este proyecto se estimó que se puede utilizar para autoconsumo del relleno o para vendérselo a consumidores cercanos (una turbina de 30 kW alcanzaría para alimentar el equivalente a 20 casas). Sin embargo, la inversión requerida para estas turbinas es bastante alta, entre U\$

⁴³ Utilización del biogás para generación de electricidad. Alvaro Zapata Cavidad, Fundación CIPAV.

⁴⁴ Manual “*Landfill Gas to Energy*” de la EPA (1996).

4.000 y U\$ 5.000 para turbinas de 30 kW y entre U\$ 2.000 y U\$ 2.500 para turbinas mayores (200kW)⁴⁵.

Para este proyecto se debe apreciar las condiciones climáticas debido a que los motores de combustión interna sufren de corrosión debido al contenido de ácidos en el biogás, no así las turbinas a gas. Pero estas últimas son más caras, necesitan un gas de calidad consistente y una mayor presión de entrega, lo que aumenta los costos por concepto de instalación y operación de compresores. Como el biogás de Navarro generaría en promedio 2,0 MW durante el 2009 y el 2025, se podría instalar turbinas para aprovechar economías de escala, ya que el costo de generación por cada kW cae en la medida que el tamaño de la turbina se incrementa. La cantidad y calidad del biogás determinarán el tamaño de la planta y darán tranquilidad al operador y a los prestamistas financieros del proyecto. Además, a partir de aquí, se puede hacer una estimación del costo de capital de la instalación.

La rentabilidad de generar electricidad con el biogás de Navarro depende fuertemente de las inversiones que para ello deban hacerse. Para este caso como el relleno ya existe, las inversiones consideradas serán, la construcción de la red de recolección de biogás, la compra e instalación de la planta de tratamiento del gas y del bloque de potencia, lo cual significaría una inversión máxima de \$20.774'126.906⁴⁶ que podrá suministrar energía a unas 96 casas por medio de una turbina con una potencia promedio de 145 Kw, durante el 2009 y el 2025.

Hay que tener muy en cuenta las características del biogás, puesto que esto lo define para ser usado en turbinas o máquinas de combustión interna que accionen

⁴⁵ Manual “*Landfill Gas to Energy*” de la EPA (1996).

⁴⁶ El Costos de generación máxima se estima a \$1200 por Kwh.

generadores eléctricos⁴⁷. Se pueden requerir de algunos sistemas de control y algunos tratamientos adicionales, según sea la caracterización del biogás, ejemplo, para eliminar la presencia de compuestos tóxicos o lesivos para la operación de los motores y para la salud humana, entre otros.

El biogás es combustible, tiene un alto valor calórico de 4.700 a 5.500 Kcal. /m³. Dentro de este compuesto el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 kg/m³. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones⁴⁸. Debido a los resultados de la caracterización hecha para los residuos sólidos presentes en Navarro su alto porcentaje de tipo orgánico influyo en el alto poder calorífico promedio, el cual fue estimado para el biogás en 4.302,9 Kcal. /m³ y una peso específico de 0,6 kg/m³ el cual se recomienda para realizar cálculos posteriores. Una ventaja de esto es que el biogás tiene un alto poder calorífico lo que permite utilizarlo como un combustible útil en un sistema de cogeneración.

Se identifico que potencialmente el uso del biogás en Navarro, puede ser utilizado para generación eléctrica para autoabastecimiento del sitio; generación eléctrica para venta de energía a otros consumidores (conexión a la red); en caso de generación eléctrica a partir de biogás, se obtendrían reducciones de emisiones adicionales, en la medida que disminuirían las emisiones de CO₂ de plantas de generación eléctrica en otros lugares de la red de la Ciudad o el Departamento; venta de biogás como combustible alternativo para usuarios externos (uso agrícola) calderas, hornos cementeros, procesos de secado, etc, y como combustible para evaporación de lixiviados que se generan en el sitio.

⁴⁷ Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. 2003.

⁴⁸ Considerations on the use of the biogás. Methodology for the construction of a small plant of biogás. Universidad de Granma- Cuba- www.monografias.com

Entre las tecnologías para el aprovechamiento del biogás identificadas, se encontraron:

- ✓ Motores recíprocos de combustión interna⁴⁹- electricidad 48%.
- ✓ Turbinas de gas - electricidad 4%.
- ✓ Otros - electricidad 6%.
- ✓ Uso térmico directo 7% (calderas, evaporación de lixiviados, invernaderos, gas natural licuado, combustible para vehículos, síntesis de metano, motores de Stirling -motor de combustión externo-, de motores orgánicos del ciclo de Rankine).
- ✓ Otras tecnologías como turbinas de vapor, ciclo combinado, cogeneración, micro turbinas que es utilizada en rellenos más pequeños y celdas de combustible que son utilizados pero en menor proporción⁵⁰.

En el mundo, las aplicaciones directas innovadoras incluyen la cerámica de la leña y los hornos que soplan del cristal; los invernaderos que accionan y de calefacciones y un hielo patinan; y agua de la calefacción para una operación de la acuicultura (piscicultura). Las industrias actuales que usan biogás incluyen la fabricación auto, producción química, transformación de los alimentos, farmacéutico, cemento y fabricación del ladrillo, tratamiento de aguas residuales, electrónica y los productos de consumidor, producción del papel y del acero, y las prisiones y los hospitales, apenas para nombrar algunos.

Adicionalmente, existe una serie de tecnologías experimentales para aprovechar tanto el CO₂ como el gas metano generado en los rellenos sanitarios como lo son, uso de celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFCs) para la generación de

⁴⁹ El motor de combustión interna es la tecnología más utilizada en rellenos sanitarios para la recuperación energética del biogás, el cual está siendo utilizado en aproximadamente el 80% de los 330 proyectos de energía de biogás de rellenos sanitarios actualmente operando en EE.UU. (Methane Outreach Program, EPA).

⁵⁰ Boada Saenz Ingenieros. Bogotá, 2003.

energía eléctrica y calor; conversión del metano en gas comprimido para su uso en vehículos; operación de rellenos como bioreactores aeróbicos o aneróbicos; producción de metanol, producción de CO₂ industrial; y uso del biogás para calefacción de invernaderos y para aumentar su contenido de CO₂.

En cuanto a las turbinas de vapor para el aprovechamiento de la energía térmica del biogás, este proceso presenta mayor eficiencia que la combustión en motores de combustión interna. El sistema es bastante tolerante en cuanto a la composición del biogás y presencia de impurezas, con requerimientos moderados de mantenimiento y bajos costos de operación.

En las turbinas a gas, la combustión se realiza dentro estos equipos, que tienen características casi idénticas a las utilizadas en aviación y progresivamente ganan más aceptación para uso del biogás. Una variante del sistema de turbinas a gas es el llamado “ciclo combinado”, que consiste en la instalación de una unidad adicional de generación, que mediante una turbina de vapor que aprovecha el calor que desprende la turbina a gas en la generación primaria. Se utiliza para incrementar la eficiencia de generación del sistema.

Después de la generación, el sistema de transformación y distribución de la energía eléctrica generada, siguen el diseño asociado con la aplicación de los criterios estándares para el transporte y alimentación a la red o para uso en el entorno del relleno sanitario.

Para proyectos grandes con objetivos como inyección de metano procedente del biogás para los gasoductos, es necesario separar no sólo el CO₂, sino también depurar el metano que se separó del biogás⁵¹.

⁵¹ La normatividad sobre calidad está dada por la Resolución 71 de 1999 de la CREG.

Las compañías que instalan sistemas de recuperación de biogás indican que para un proyecto sea económicamente viable a gran escala se deben reunir las siguientes condiciones:

1. El relleno debe contener como mínimo 1'000,000 de ton. Mientras mayor sea el contenido orgánico es mejor.
2. El sitio debe estar en operación o tener cinco años de haber cerrado.
3. El espesor de los estratos de residuos sólidos debe ser como mínimo de 12 m.
4. El material de cobertura es necesario que sea impermeable para reducir el movimiento del biogás.

Actualmente, el sitio de disposición de residuos sólidos de Navarro cumple con más del 93% de las recomendaciones, dando así una clara visión de la viabilidad y el interés de varias compañías en realizar inversiones en dicho sitio.

La generación de energía a partir del biogás de Navarro puede funcionar con instalaciones sencillas, sin infraestructuras sofisticadas. Los límites de la valoración térmica son los siguientes:

- ✓ Se necesita un consumidor importante de energía térmica en el entorno inmediato del relleno, ejemplo, fábricas de ladrillos, incineración de residuos infecciosos, lavandería industrial y desecación de productos, cultivos que necesiten de insecticidas, etc.
- ✓ Debe tenerse cuidado con los riesgos de corrosión de las partes frías de las instalaciones donde pueda presentarse una condensación. Estos sistemas deben estar provistos de antorchas para quemar los excedentes de gas que resulten de un bajo consumo.

- ✓ Si el proyecto implementado es de mediana y pequeña envergadura, la utilización del biogás como energético, generalmente es suficiente la deshidratación del biogás para utilizarlos en motores generadores, y más usualmente en turbinas a gas. Cuando el biogás se quema en la antorcha como proyecto MDL, eventualmente puede ser necesario solamente la eliminación de sulfuro de hidrógeno (H_2S), o ningún tratamiento, ni siquiera la deshidratación.

- ✓ Para proyectos pequeños, para evitar la construcción de una planta desulfuradora, puede ser suficiente el tratamiento del biogás con virutas de hierro para promover la eliminación del azufre mediante formación FeS .

Uno de los requerimientos técnicos más comunes es la deshidratación del biogás o del metano que se haya separado previamente. El proceso usual para esta deshidratación es igual al que se emplea para la deshidratación de gas natural,

Otra consideración para el procesamiento del biogás son los requerimientos de la legislación ambiental Colombiana. Los hidrocarburos traza y los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera, son asuntos que deben evaluarse antes de seleccionar el proceso de tratamiento.

La magnitud de referencia para la evaluación de la diversificación de la canasta energética que resulta de la formulación de un proyecto de captación para utilización térmica del biogás. Todos los aspectos anteriores se deben tener en cuenta para la valoración energética y deshidratación del biogás.

Todo lo anterior nos lleva a concluir que la utilización de las energías renovables y el uso racional de la energía en general, constituyen estrategias básicas para cualquier país que busca el desarrollo sostenible, ello implica la necesidad de

realizar actividades de conversión energética, evaluar y aplicar nuevas tecnologías y desarrollar programas de capacitación que permitan una mayor difusión de estos temas.

7. VIABILIDAD BAJO LOS MECANISMOS ESTABLECIDO EN EL PROTOCOLO DE KIOTO.

Dentro de los mecanismos del Protocolo de Kioto se encuentran instrumentos de mitigación y control del efecto de los gases invernaderos, entre los cuales se crea un mercado de unidades de reducción de emisiones o, como los denomina la normativa comunitaria y nacional, mercado de derechos de emisiones, entre los países del anexo I de la Convención (art. 6). Esto es, si un país emana emisiones por debajo de la tasa de reducción que tiene asignada, puede vender el exceso a otro país. En su virtud, el país comprador podría aumentar sus emisiones en la cantidad adquirida del país vendedor. Las transacciones sólo podrán realizarse entre países del Anexo I de la Convención. Las transacciones pueden ser realizadas a instancia de actividades industriales que tengan lugar en esos países (art. 3.10-13 y 6). Para que esta operación se efectúe con transparencia es necesario que cualquier transacción quede perfectamente registrada, a la hora de conocer cuáles son los derechos de emisión que corresponden a cada industria. Existirán, a tales efectos, tanto registros de carácter internacional como de carácter nacional.

El protocolo de Kioto permite a los países firmantes que las reducciones de otros gases invernadero puedan también servir de créditos, que se canjeen por las emisiones equivalentes de CO₂. Estos gases son: el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los perfluorocarburos (PFCs), los hidrofluorocarburos (HFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

Las equivalencias no son fáciles de determinar, debido sobre todo a la diferente duración de vida de los gases en la atmósfera. Por ejemplo el "potencial de calentamiento global" (GWP) del metano es 56 con respecto al del CO₂ (GWP del CO₂ = 1) en un horizonte de 20 años, pero es 21 en un horizonte de 100 años (que

es el que, por ahora, se utiliza en los canjes). Ocurre que el metano tiene una vida media en la atmósfera de corta duración (unos 12 años), por lo que su potencial de calentamiento depende mucho del tiempo que haya transcurrido desde su emisión.

Otro mecanismo es el que hace relación a los proyectos de desarrollo limpio, donde un país industrializado puede desarrollar proyectos en países no industrializados para reducir sus emisiones contaminantes. En tales casos, dicho país recibe, a cambio, “certificados de reducción de emisiones” (CRE) que se contabilizarán a los efectos del cumplimiento de sus obligaciones de reducción. Ello podrá implicar, por tanto, un aumento de las emisiones que pueden emanarse en dicho país. Estos derechos, a su vez, pueden ser vendidos en el mercado de emisiones.

El Protocolo de Kioto contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados disminuyan las emisiones de los seis gases de efecto invernadero. Es por ello que se encuentran muy interesados en invertir en países en vía de desarrollo para cumplir con sus metas. Estas condiciones hacen que la variabilidad de valor de las emisiones certificadas fluctúe de un país a otro (el valor por tonelada de carbono, hoy en el mercado mundial oscila entre 6 y 7 dólares, pero al momento de cumplir el contrato eso puede cambiar) y por ende que se pueda negociar la implantación de este proyecto con países que ofrezcan mayor rentabilidad económica.

Por lo que se refiere a los Estados no industrializados (Colombia), que no figuran en el anexo I de la Convención, no asumen obligaciones concretas y específicas, sino genéricas de lucha contra el cambio climático, control de emisiones y respeto de los sumideros de gases. Es por ello que Colombia debe aprovechar la necesidad de negociar con otros países, para cuando deba cumplir legalmente tenga de referencias esta experiencia en el sentido que el estudio se plantea.

7.1. Requerimientos mínimos necesarios.

Los requisitos mínimos establecidos por la normativa ambiental vigente de Colombia para solicitar la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL, debe seguir el siguiente procedimiento:

La persona natural o jurídica, pública o privada interesada en someter a aprobación nacional un proyecto deberá presentar ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, una solicitud escrita mediante su representante legal o apoderado, con la cual deberá acompañar la siguiente información y/o documentación:

- ✓ Documento del proyecto presentado en los formatos elaborados especialmente por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo para el efecto, los cuales obran como Anexo 2A o 2B de la resolución 0453 de 2004 según el caso⁵².
- ✓ Copia del certificado de existencia y representación legal expedido por la Cámara de Comercio, con mínimo tres (3) meses de antelación a la presentación de la solicitud. En caso de personas jurídicas extranjeras, los documentos que acrediten su existencia y representación legal, autenticados por el funcionario consular colombiano o quién haga sus veces, y en idioma castellano.
- ✓ El poder debidamente otorgado en caso de que se actúe mediante apoderado.

⁵² El anexo 2A-, aplica para el caso de este estudio y se encuentran en los anexos del presente estudio.

7.1.1. Procedimiento para la aprobación Nacional de proyectos.

El procedimiento para la obtención de la aprobación Nacional de los proyectos por parte de este Ministerio, en su calidad de Autoridad Nacional Designada, es el siguiente:

1. El interesado radicará la solicitud con los requisitos y documentación antes mencionada ante el Grupo de Archivo y Correspondencia del Ministerio, o la dependencia que haga sus veces.
2. Recibida la solicitud por el Grupo de Mitigación de Cambio Climático, o la dependencia que haga sus veces, efectuará el registro del proyecto, y la revisión preliminar de la información recibida con el objeto de determinar si cumple con los requisitos de información previstos en el artículo quinto de la presente resolución.
3. En caso que la información se encuentre incompleta, dentro de los cinco (5) días siguientes, el Grupo de Mitigación de Cambio Climático o la dependencia que haga sus veces, informará al solicitante mediante comunicación escrita dicha circunstancia y le requerirá la documentación e información faltante.
4. Presentada la información y documentación y verificado el hecho de que la información aportada se encuentra completa, se evaluará la solicitud y se podrá requerir, en caso de considerarse necesario, información adicional.
5. Una vez se encuentre completa la información, dentro de los veinte días (20) días siguientes el Grupo de Mitigación del Cambio Climático, o la dependencia que haga sus veces, procederá al estudio, evaluación de la solicitud con base en los

principios, requisitos y criterios que se adoptan mediante la presente resolución, y preparará un concepto técnico al respecto.

6. Concluido el estudio y evaluación señalados en el punto anterior, el Grupo de Mitigación del Cambio Climático, o la dependencia que haga sus veces, remitirá el concepto a los miembros del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático, quienes cuentan con un plazo de veinte (20) días calendario para sus comentarios. Transcurrido este término y en ausencia de comentarios por parte de algún miembro del Comité Técnico Intersectorial, el concepto será acogido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

7. El Grupo de Mitigación del Cambio Climático, o la dependencia que haga sus veces, proyectará para la firma del Viceministro de Ambiente del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial una comunicación escrita, que expresará si el Ministerio, en su calidad de Autoridad Nacional Designada, otorga o no la aprobación al solicitante. La comunicación será entregada y/o enviada al solicitante y/o a la persona que se autorice por escrito para este fin dentro de los cinco (5) días siguientes a su emisión.

7.2 Ciclo del proyecto.

Para el caso que el proyecto de aprovechamiento de biogás se implemente bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio, debe seguir los siguientes pasos hasta obtener los Certificados de Reducción de Emisiones -CER's -:

Paso No. 1. Formulación y diseño del proyecto. Esta tarea está a cargo del responsable o promotor del proyecto.

Paso No. 2. Aprobación por la Autoridad Nacional designada -AND-. El proyecto es aprobado por la AND en función de su contribución al desarrollo sostenible del país.

Paso No. 3. Validación por una Entidad Operacional. La validación por una Entidad Operacional consiste en una evaluación del proyecto por una entidad independiente.

Paso No 4. Registro ante la Junta Ejecutiva del MDL. El registro es solicitado por la Entidad Operacional ante la Junta Ejecutiva del MDL.

Paso No. 5. Monitoreo. El monitoreo consiste en el seguimiento y registro de determinada información que debe hacer el responsable del proyecto.

Paso No. 6. Verificación y certificación por una Entidad Operacional La verificación es la revisión independiente de los resultados del monitoreo. La certificación es la constancia dada por la Entidad Operación de las reducciones que el proyecto ha dado a lugar.

Paso No. 7. Expedición de los CRE por la Junta Ejecutiva. La Junta Ejecutiva expide los CRE a partir de la certificación entregada por la Entidad Operacional.

7.3 Rentabilidad por la posible implementación del proyecto.

Se proyectó que durante el 2009-2025 se generará un mínimo de 327.204,7 Ton de CO₂ equivalente y 2'150.469,1 de Ton de CO₂ equivalente provenientes del CH₄, los cuales representarán 2'477.673,8 de RCE⁵³. Estas Reducciones Certificada de emisiones podrán ser negociadas con empresas que estén interesadas en invertir en

⁵³ 1 RCE = 1 tonelada de CO₂-equivalente.

dicho negocio dentro de la bolsa de comercio de bonos de carbono. Partiendo de ahí, estas RCE serían equivalentes al ingreso de € 1'486.604,3 de euros (\$2.675'887.722) a la empresa EMSIRVA E.S.P por concepto de regalías equivalente al 20% de las ganancias por la venta de RCE durante este periodo⁵⁴, lo cual significaría el ingreso promedio anual de \$ 157'405.160.

Dentro de la gama de empresas que actualmente se encuentran dentro del comercio de carbono y que se visionaron para la posible compra de estas emisiones, se encontró:

Empresa	Precio mínimo.
CEAMSE EUROS	€ 8,00
HOLANDA	€ 4,00
UNIÓN EUROPEA	€ 6,50
FRAUNHFER INSTIT	€ 20,0
IG-BCE PERICIA	€ 20,0
OEKO-INSTITUT FREIBURG	€ 5,00
SCHMACK BIOGAS	€ 3,00
UBA	€ 5,00

Las regalías que ingresarían a EMSIRVA E.S.P, dependen de la negociación que se realice con la empresa especializada que vendería los bonos de carbono o RCE's. Para dar un ejemplo claro de la posible negociación, se podría realizar por medio de alguna empresa especializada en la venta de estas RCE's como CEAMSE - compañía española perteneciente al estado español- que paga 8 euros por RCE's y entrega el 30% en regalías por concepto de la utilidad de los bonos a la empresa

⁵⁴ Las RCE se podrían negociar como mínimo a 3 euros. Calculo teniendo en cuenta que 1 euro = \$1800 al día de hoy. La negociación es facultad de la empresa encargada del aprovechamiento del biogás. Las regalías a que puede acceder la empresa EMSIRVA E.S.P depende del porcentaje negociado con la empresa encargada del aprovechamiento del biogás y que debe ser autorizada por medio de un poder debidamente otorgado en caso de que se actúe mediante apoderado para poder ejercer los trabajos de aprovechamiento y negociación.

propietaria del relleno. Si fuese el caso de Navarro se presentaría ingresos por un valor aproximado de 5'946.417,2 euros durante el periodo 2009 - 2025 equivalentes aproximadamente a \$10.703.550.887,8⁵⁵. En la tabla 19 se puede observa las proyecciones de las posibles venta de RCE y los posibles ingresos por concepto de regalías por concepto de la utilidad del a venta de RCE.

Una vez que el Proyecto de Biogás en Navarro sea registrado y aprobado como proyecto MDL, se generarán Reducción de Emisiones Certificadas - RCE-.

7.4. Propuestas a través de MDL para Navarro.

Actualmente se encuentran una variedad de empresas que trabajan en rellenos sanitarios en el aprovechamiento de biogás mediante los mecanismos del Protocolo de Kioto. Entre estas compañías, la empresa MGM internacional ha prestado su atención al sitio de disposición de Navarro y han presentado su portafolio de servicios a la empresa EMSIRVA. E.S.P.

Otras de las empresas interesadas en invertir en la ciudad a partir de este proyecto ha sido la Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA) por medio el Programa Landfill Methane Outreach, la cual realizaron visitas a inicios del 2006 a Navarro con el fin de ver la oportunidad de negocio.

7.5. Entes potenciales de financiamiento del proyecto.

Dentro de las posibles empresas, compañías y alianzas a nivel mundial que pueden financiar este tipo de proyectos se encuentra:

⁵⁵ Basados en 1 euro = \$1800 moneda legal actual.

- ✓ El Fondo Prototipo del Carbono (PCF): es una alianza entre entes privados y públicos, con el objeto de promover el desarrollo del mercado internacional de reducciones de emisiones. El Fondo, administrado por el Banco Mundial, cuenta con recursos por US\$ 180 millones, provenientes de 6 gobiernos y 17 empresas de países industrializados. El PCF ha completado la negociación de las reducciones de emisiones de cuatro proyectos y ha avanzado en la negociación con cerca de quince más. Para fines de 2002 el Fondo espera completar acuerdos de compra de reducciones de emisiones por más de 25 millones de toneladas de CO₂, provenientes de 20 proyectos diferentes. Dos proyectos colombianos se encuentran terminando el proceso de negociación⁵⁶.

- ✓ Programa Latinoamericano del Carbono: El Programa Latinoamericano del Carbono (PLAC) de la Corporación Andina de Fomento (CAF), busca facilitar que los países de la región se destaquen en el mercado mundial de reducciones de emisiones. Para ello ofrece apoyo a los sectores privados y públicos de los países miembros, en la identificación y desarrollo de proyectos, así como en el fortalecimiento de las instituciones relevantes. El PLAC estableció con el Gobierno de los Países Bajos el "CAF-Netherlands CDM Facility", con el fin de facilitar las transacciones de reducciones de gases de efecto invernadero por un monto de hasta 10 millones de toneladas de CO₂-eq. Un proyecto colombiano ha recibido el apoyo del PLAC⁵⁷.

- ✓ CERUPT: El gobierno de los Países Bajos estableció el programa Carboncredits.nl, con el objeto de adquirir reducciones de emisiones certificadas, provenientes de proyectos de Implementación Conjunta y del Mecanismo de Desarrollo Limpio. El subprograma CERUPT, a cargo de la

⁵⁶ <http://www.prototypecarbonfund.org>.

⁵⁷ Programa Latinoamericano del Carbono – <http://www.caf.com>.

negociación de reducciones de emisiones de proyectos del MDL, cerró en enero 31 de 2002 su primera solicitud de ofertas. Recibió 80 intenciones de venta y seleccionó 26 de ellas, por un total de 32 millones de toneladas de CO₂-eq. El programa Carboncredits.nl es administrado por la agencia Senter⁵⁸.

- ✓ IFC-Netherlands Carbon Facility: La International Finance Corporation acordó con el gobierno de los Países Bajos, el establecimiento de "IFC-Netherlands Carbon Facility" (INCaF), con el propósito de captar reducciones de emisiones de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio. El INCaF cuenta con recursos por 44 millones de Euros (aproximadamente US\$ 40 millones), a ser destinados en los próximos tres años⁵⁹.

- ✓ Community Development Carbon Fund: El Banco Mundial anunció la creación de este nuevo fondo, que tendrá un especial énfasis en proyectos de pequeña escala de reducción de gases de efecto invernadero, que supongan además beneficios significativos para las comunidades locales. El fondo contará con recursos por US\$ 100 millones, provenientes de compañías y gobiernos de países industrializados⁶⁰.

⁵⁸ <http://www.carboncredits.nl>

⁵⁹ <http://www.ifc.org/carbonfinance>.

⁶⁰ <http://www.communitycarbonfund.org/>

8. CONCLUSIONES.

El presente estudio a presentado las bases técnicas, jurídicas, económicas y ambientales, donde se determina que la oportunidad de inversión es lo bastante comprometedor como para que se pueda decidir sobre invertir en la implementación del proyecto; Donde se justifica el análisis detallado del estudio, y los efectos que producirá sobre el sistema económico y social de forma favorable; La suficiente viabilidad de invertir por parte de inversionistas y establece las pautas para realiza el estudio de mercado de la posible energía producida por el biogás.

El estudio sustenta el historial de este tipo de proyectos en el mundo, mostrando el mercado e ingresos anuales correspondientes a las regalías por concepto de las ganancias de la venta de las Reducciones Certificadas de Emisiones a partir de la materia prima (biogás), que podrían ingresar a la empresa de servicios públicos.

Se puede concluir con base en este estudio, que el biogás que se genera en Navarro se puede aprovechar mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto, donde se pronostica la inversión por parte de empresas multinacionales.

A todo esto se le suma, que el aprovechamiento de la energía que generé el biogás, es un valor agregado que suma al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad y en la utilización de energías no convencionales que aporta a la eficiencia del sistema de tratamiento de los residuos sólidos.

Con la implementación de este proyecto se ampliarían los espectros dinámicos de la empresa EMSIRVA E.S.P, con relación a sus ingresos, su imagen corporativa y su apoyo al mejoramiento de la calidad ambiental local, nacional y aporte global.

9. SUGERENCIAS.

- ✓ Recircular los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura para que acelere las bio reacciones que ocurren en las basuras y aumentar la producción de biogás con el tiempo, disminuyendo al mismo tiempo los impactos ambientales de su descarga y los costos de tratamiento, debido a que la recirculación⁶¹ de los líquidos logra poner en contacto los organismos anaeróbicos con su fuente alimenticia y por ende acelera el proceso de generación de gas considerablemente. Además, esta técnica tiene el beneficio de acelerar la estabilidad de los materiales orgánicos presentes; reducción de la materia orgánica de los lixiviados y consecuentemente el costo para el tratamiento de los mismos; reducción de la cantidad de lixiviados por el incremento en la evapotranspiración; aumento en la degradación de la basura por el incremento del contenido de agua de los residuos; suministro y distribución de nutrientes y biomasa; y dilución de concentraciones altas localizadas de inhibidores que influyen en la biodegradación dentro del cuerpo de los residuos sólidos.

- ✓ Seguir con la cobertura periódica de las basuras de forma rápida para disminuir el tiempo de exposición de la basura con el aire permitiendo así la generación de condiciones anaeróbicas que la degraden y produzcan biogás y al mismo tiempo darle cumplimiento a la resolución 000027 de 2004 acerca de la cobertura de los desechos. Cuando antes se den estas condiciones, más rápido comienza a degradarse la basura o en otras palabras a mayor tiempo de exposición de la basura prima el proceso de oxidación, donde se generaría en su mayor parte CO₂ y agua y prácticamente poco de metano.

⁶¹ Se pueden utilizar tres diferentes tipos de sistemas de recirculación de lixiviados: irrigación por aspersión, flujo superficial e irrigación por inyección. (SEDESOL).

- ✓ Aprovechar en motores de combustión interna o micro turbinas el biogás, teniendo en cuenta que el contenido de metano se estima en un 50% en volumen, considerándolo así como un gas rico que puede operar rentablemente en plantas modulares para generar energía y calor combinados, en busca de aprovechar el biogás generando energía y mejorar la eficiencia del sistema. El aprovechamiento del biogás para ser utilizado como combustible en generación interna de en una planta de energía que pueden exportarse a la red eléctrica o para poner en funcionamiento para una planta de evaporación de lixiviados y nuevamente a la venta de reducciones certificadas de emisiones (CERs) de gas efecto invernadero.

- ✓ Realizar convenio interinstitucional entre Universidades y la empresa EMSIRVA E.S.P para realizar el estudio de eficiencia energética del biogás de Navarro. La importancia de este aspecto radica en el interés primordial del Banco mundial en la generación de energía eléctrica como opción para proyectos de utilización de biogás y los beneficios ambientales debido a la reducción de emisiones a la atmósfera con el paso del tiempo, que se verán reflejadas en beneficios económicos para la empresa.

- ✓ Realizar un estudio de concentración promedio de mercurio detectada en el biogás, debido a que el sitio puede representar una fuente significativa de mercurio gaseoso que puede afectar la salud de poblaciones cercanas. Los residuos que contribuyen a la emisión de Hg son principalmente de lámparas fluorescentes, termómetros, pilas y baterías, cerámicas artesanales, interruptores eléctricos, etc. (Pilgrim, 2000), que alcanzan un alto porcentaje dentro de la caracterización realizada en el estudio para los residuos sólido dispuestos en Navarro.

- ✓ Tomar las medidas técnicas adecuadas dentro del sistema de impermeabilización del relleno, para evitar fugas del biogás con el objeto de aumentar la eficiencia del sistema y así el equivalente de metano que pueda aprovecharse. Por otro lado, prevenir que estas fugas de biogás acarreen trazas de compuestos carcinogénicos y teratogénicos que se incorporen al ambiente.
- ✓ Efectuar las pruebas de producción mediante la perforación de pozos o instalación de gasómetros, adecuar la instalación de tuberías a un cabezal principal que transporte el gas hacia el equipo quemador y analizador (se recomienda la cromatografía de fases por ser mas viable económicamente), instalado en la parte baja del relleno.
- ✓ Para utilizar el biogás, su calidad se debe mejorar y el principal compuestos que requiere ser removidos mediante sistemas de purificación son el sulfuro de hidrógeno (H_2S), agua, CO_2 y compuestos halogenados.
- ✓ Con relación a su viabilidad, se recomienda realizar el análisis de mercado y viabilidad económica para definir el uso más adecuado que se le puede dar al biogás de Navarro.
- ✓ Debido a la inestabilidad de la producción del biogás en Navarro, como efecto de los problemas técnicos que afectan la eficiencia del sistema, se recomienda realizar el estudio para la generación de energía con turbinas mayores de ciclo combinado que son óptimas cuando se generan más de 8 MW. Para este caso, se debe analizar la variabilidad del potencial de

generación de biogás en el relleno sanitario para que no afecte la producción de energía eléctrica⁶².

Nota: De las recomendaciones anteriores se puede establecer que algunas de ellas no son competencia legal para la empresa EMSIRVA E.S.P., pero debido a su importancia y viabilidad económica que generaría ingresos considerables, se recomienda realizar acercamientos con empresas interesadas en invertir en la puesta en marcha del presente estudio, con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Ministerio de Minas y Energía.

Por ultimo, se recomienda mejora las condiciones técnicas y sociales de Navarro; El escenario político de EMSIRVA E.S.P para aprobar la iniciativa, con el objeto de dar mayores garantías a la empresa internacionales que podría negociar la Reducción de Emisiones Certificadas bajo los mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto. La adecuación de estos aspectos se verá reflejada en el aumento del porcentaje correspondiente a las regalías que ingresarían a EMSIRVA E.S.P y definidas en la negociación.

⁶² BID. Departamento de Desarrollo Sostenible- División de Medio Ambiente.2004.

10. GLOSARIO.

- Biogás: Fluido natural que tiende a expandirse indefinidamente y que se caracteriza por su pequeña densidad y compuesto principalmente de metano.

- Combustión interna: Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama dentro de una cámara de combustión o en sistemas de desgasificación en centro de disposición final de residuos sólidos.

- Dióxido de carbono (CO_2): Gas incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido, cuya molécula consiste en un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno (CO_2). El dióxido de carbono es 1,5 veces aproximadamente más denso que el aire. Es soluble en agua en una proporción de un 0,9 de volumen del gas por volumen de agua a 20 °C.

- Gases Efecto Invernadero (GEI): Pequeñas cantidades de gases presentes en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra, actuando como un manto que previene el escape de esta radiación hacia el espacio y provocando, entre otros efectos, el calentamiento de la superficie terrestre.

- Generación potencial de metano (L_0): Parte de la ecuación matemática donde se calcula la generación de biogás producido en los rellenos sanitarios. El potencial máximo de generación de metano es la cantidad de metano producido por una unidad de masa de residuos proveyendo

suficiente tiempo. Éste se expresa en unidades de m^3/Mg y esta en función del contenido orgánico en los residuos.

- Índice de generación de metano (k): Parte de la ecuación matemática donde se calcula la generación de biogás producido en los rellenos sanitarios. El índice se expresa en $\text{lts}/\text{año}$ y esta en función del contenido de humedad en los residuos, la disponibilidad de nutrientes, el pH⁶³, y la temperatura⁶⁴.
- Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL): Actividad de proyecto que permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Su propósito es doble. Por un lado, ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, y por el otro, ayudar a los países desarrollados a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones contraídos en Protocolo de Kioto, a través de la transacción de certificados de reducción de emisiones⁶⁵.
- Metano (CH_4): Llamado gas de los pantanos, compuesto de carbono e hidrógeno, es un hidrocarburo, el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural, como en el gas grisú de las minas de carbón, en los procesos de las refinerías de petróleo, y como producto de la descomposición de la materia en los pantanos. El metano puede obtenerse mediante la hidrogenación de carbono o dióxido de carbono, por la acción del agua con carburo de aluminio o también al calentar etanoato de sodio con álcali. El

⁶³Óptimo pH para la producción de metano: 6,8 a 7,2 o ligeramente ácido. Tecnologías para el posible negocio con certificados en rellenos sanitarios. GTZ.

⁶⁴Entre 25-40 °C de temperatura ambiente son requeridos para buena producción de metano. Las bacterias metanogénicas en condiciones termofílicas tienen un crecimiento óptimo entre 50 °C y 60°C. Para los Residuos Sólidos Urbanos, se suele optar por trabajar en el rango de temperaturas termofílicas. Ciro Serrano Camacho-Alternativas de utilización de Biogás de rellenos sanitarios de Colombia. 2006.

⁶⁵ Artículo 12 del Protocolo de Kioto, <http://cdm.unfccc.int/>

metano es apreciado como combustible y para producir cloruro de hidrógeno, amoníaco, etino y formaldehído. El metano tiene un punto de fusión de $-182,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un punto de ebullición de $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Modelos matemáticos: Esquema teórico en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.

- Ozono (O_3): forma alotrópica del oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula. Es un gas azul pálido de olor fuerte y altamente venenoso. El ozono tiene un punto de ebullición de $-111,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, un punto de fusión de $-192,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una densidad de $2,144\text{ g/l}$. El ozono líquido es de color azul intenso, y fuertemente magnético. El ozono se forma al pasar una chispa eléctrica a través de oxígeno, y produce un olor detectable en las inmediaciones de maquinaria eléctrica. El método comercial de obtención consiste en pasar oxígeno frío y seco a través de una descarga eléctrica silenciosa. El ozono es mucho más activo químicamente que el oxígeno ordinario y es mejor como agente oxidante. Se usa para purificar el agua, esterilizar el aire y blanquear telas, ceras y harina. Sin embargo, el bajo nivel de ozono en la atmósfera, causado por los óxidos de nitrógeno y los gases orgánicos emitidos por los automóviles y las industrias, constituye un peligro para la salud y puede producir graves daños en las cosechas.

- Protocolo de Kioto: Tratado ambiental firmado en diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto-Japón, donde se celebró la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en los cuales más de 160 países adoptaron este tratado para lo cual establece que los países industrializados deben reducir, antes del año 2012, sus emisiones de gases causantes del

efecto invernadero a niveles un 5% más bajos de los registrados en 1990, entrando en vigor en febrero de 2005.

- Quemadores: Aparato destinado a facilitar la combustión del carbón o de los carburantes líquidos o gaseosos en los rellenos sanitarios, en las calderas o de otras instalaciones térmicas. Para el caso específico de los rellenos, el biogás generado puede ser capturado utilizando un sistema de recolección que usualmente quema el gas por medio de quemadores que regulan la calidad del aire, los cuales se diseñan especialmente para reducir las emisiones a proporciones mucho menores que una llama abierta al aire libre.

- Radiación: Acción y efecto de irradiar. Energía ondulatoria o partículas materiales que se propagan a través del espacio. Forma de propagarse la energía o las partículas. Flujo de partículas o fotones con suficiente energía para producir ionizaciones al atravesar una sustancia o del as moléculas que atraviesa.

- Radiación Infrarroja: Emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas en la zona del espectro situada inmediatamente después de la zona roja de la radiación visible. La radiación infrarroja puede detectarse como calor.

- Rellenos sanitarios: El Relleno Sanitario es un método de disposición final de residuos sólidos y semisólidos sin causar perjuicio al medio ambiente y sin originar molestias o peligros para la salud y seguridad pública. Este método emplea principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor superficie, reduciendo su volumen a un mínimo posible y cubriéndolos con tierra con la frecuencia necesaria o bien diariamente.

- Viabilidad: Cualidad de viable. Dicho de un asunto: Que, por circunstancias, tiene probabilidades de llevar a cabo.

11. ANEXO TABLAS.

Tabla 1. Tipo de residuo dispuesto en la ciudad de Santiago de Cali⁶⁶.

TIPO DE RESIDUO	ORIGEN	DISPOSICIÓN FINAL	PORCENTAJE (%)
Especiales	Hospitales	Navarro	1 %
Escombros	Demoliciones	Escombreras	18%
Otros	Domiciliarios e industriales	Navarro	81%

Tabla 2. Residuos Domiciliarios e industriales dispuesto en Navarro u otro lugar⁶⁷.

TIPO DE RESIDUO	ORIGEN	TONELADAS	PORCENTAJE (%)	DISPOSICIÓN FINAL
Orgánico	Domiciliario	1796,34	65,8 %	Navarro
	Domiciliario	483,21	17,7 %	Rellenos
	Domiciliario	286,65	10,5 %	Cielo abierto
	Mixtos	136,5	5 %	Navarro
	Cobertura	19,11	0,7 %	Navarro
	Domiciliario	8,19	0,3 %	Navarro (planta de manejo)
Rechazos	Industrial	640,37	100 %	Navarro

⁶⁶ Cálculos del Autor basado en el Plan de Gestión Ambiental del a Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca 2002-2012.

⁶⁷ Cálculos del Investigador basado en informes de EMSIRVA E.SP.

Tabla 3. Relación de Clientes año 2007.

CLIENTES (EMPRESA-MUNICIPIOS-PARTICULARES)	CLIENTE
Cali E.S.P.	INGENIERÍA AMBIENTAL S.A. E.S.P.
	COLOMBIASEO S.A. E.S.P.
	PRO - AMBIENTALES S.A. E.S.P.
	LIMPIEZA Y SERVICIOS PUBLICOS S.A. E.S.P.
	ASEO TOTAL S.A. E.S.P.
	ASEO TOTAL INDUSTRIAL S.A. E.S.P.
	ASEO AMBIENTAL E.S.P.
	MISIÓN AMBIENTAL S.A. E.S.P.
Cali - Particulares	RICARDO IVÁN VILLAREAL/ SERVICIOS GENERALES
	BANCO DE LA REPUBLICA
	EPSA S.A. E.S.P.
	COLCHONES ÉXTASIS
	INVERSORA EL CONDOR - LA BRASA ROJA /GRUPO C.B.C. S.A.
	INDUSTRIAS TECNOPOR S.A.
	CENTRO DE ZONOSIS / FONDO LOCAL DE SALUD
	AVELINO MAPAYO AVIRAMA / RECICLAJE INDUSTRIAL AMBIENTAL
	GUILLERMO MEGIA SALMANCA
	PROMOCON S.A.
	FERNAN VARELA
	GRUPO DE INGENIERIA AMBIENTAL
	EFRAIN AVENDAÑO
	VICENTE FERER LIBREROS
	GERMAN MARULANDA
	CARLOS ALBERTO CORREA
	JOSE FLORESMIRO BOMBO
	ALFAGRES
	COMPañÍA INTEGRAL DE RECICLAJE
	ENERGIZAR LTDA
DAGMA	
EMCALI	
Yumbo	CORPIASEO (CAMARA DE COMERCIO)
	SERVIGENERALES S.A. E.S.P.
	RESIDUOS HOSPITALARIOS S.A. E.S.P.
	INCINERACIONES FULLIER S.A. E.S.P.
	MARINO IMBACHE / METALES Y RETALES
	BATERIAS MAC
	INDUSTRIAS PLASTICAS DEL PACIFICO
SESPAL LTDA	
Jamundí	ASEO JAMUNDI E.S.P.
Candelaria	ASEO CANDELARIA
	DANIPLAST & CIA S. EN C.
	AQUASERVICIOS S.A. E.S.P.
Palmira	TRITUPLAST DE OCCIDENTE LTDA
	INCINERADORES INDUSTRIALES S.A.
Caloto	MUNICIPIO DE CALOTO
	METECNO DE COLOMBIA
EMVILLARICA	EMVILLARRICA

Tabla 4. Relación de tipo de residuo dispuesto en el relleno transitorio de Navarro año 2002.

TOTAL RESIDUOS DISPUESTO -2002- TIPO	Producción (Kl.)
Barrido-Transitorio	57.410.574
Clínicos	142.148
Clínicos (2)	532.451
Domiciliarios (E.S.P)	18.650
Domiciliarios (Otros)	3.730
Domicilio - Relleno	10.841.805
Domicilio - Relleno 2	15.202.034
Domicilio - Transitorio (E)	6.598.874
Domicilio transitorio	342.615.015
Domicilios (Jamundí)	7.073
Domicilios (Yumbo)	6.874
Escombros(Otros)	68.010
Especiales (E)	182.806
Especiales (E.S.P.)	192.770
Especiales (Otros)	61.946
Lodos (Otros)	312.955
Lodos (E:	61.190
Orgánico-Relleno Transitorio	459.630
Orgánico-Transitorio	14.448.036
Orgánico (E)	4.670
Rechazos-Relleno transitorio	1.202.971
Rechazos-Transitorio (E.S.P)	8.742.734
Rechazos-Transitorio	29.049.146
Residuos sólidos Urbanos	82.380
Restos de poda-Relleno	12.090
Restos poda - Transitorio	1.378.657
Tierra y escombros - Transitorio	117.768.321
Tierra y escombros-Relleno Transitorio	1.654.230
Tierra (Otros)	3.260
Rechazos (Otros)	11.918
Asimil. Domiciliario (Otros)	5.550
Restos de Podas (Otros)	10.050
Tierra y Escombros. (Otros	15.370
TOTAL	609.107.918

Tabla 5. Relación de tipo de residuo dispuesto en el relleno transitorio de Navarro año 2003.

TOTAL RESIDUOS DISPUESTOS 2003	Producción (Kl.)
TIPO	
Barrido-Transitorio	56.588.308
Clínicos	770.974
Clínicos (E)	379.338
Domiciliarios (E.S.P)	2.163
Domicilio - Relleno	27.615.536
Domicilio - Transitorio (E)	10.750.308
Domicilio transitorio	366.062.712
Especiales (E)	148.028
Especiales (E.S.P.)	232.586
Especiales (Otros)	63.980
Lodos (Otros)	1.660
Lodos (E)	24.767
Orgánico-Relleno transitorio	454.278
Orgánico-Transitorio	14.684.109
Rechazos-Relleno transitorio	614.666
Rechazos-Transitorio. (E.S.P)	10.750.866
Rechazos-Transitorio	34.057.406
Residuos sólidos Urbano	268.236
Restos poda - Transitorio.	1.409.670
Tierra y escombros - Transitorio	144.855.729
Tierra y Escombros-Relleno Transitorio	21.450
Rechazos (Otros)	3.327
Asimil. Domiciliario (Otros)	13.970
Restos de Podas (Otros)	940
TOTAL	669.775.007

Tabla 6. Relación de tipo de residuo dispuesto en el relleno transitorio de Navarro año 2004.

TOTAL RESIDUOS DISPUESTOS 2004	Producción (Kl.)
TIPO	
Barrido-Transitorio	56.434.207
Clínicos	542.104
Clínicos (E)	908.329
Domiciliarios (E.S.P)	9.243
Domiciliarios	7.084.279
Domicilio - Relleno	23.763.688
Domicilio - Transitorio (E)	5.864.248
Domicilio transitorio	376.762.138
Especiales (E)	129.748
Especiales (E.S.P.)	563.227
Especiales (Otros)	40.050
Orgánico-Relleno Transitorio	616.710
Orgánico-Transitorio	15.962.972
Rechazos-Relleno transitorio	244.790
Rechazos-Transitorio. (E.S.P)	10.121.334
Rechazos-Transitorio	30.324.451
Residuos sólidos Urbano	141.450
Restos poda - Transitorio	1.006.367
Tierra y escombros - Transitorio	33.384.969
Tierra y escombros-Relleno Transitorio	2.980.248
Rechazos (Otros)	1.937
Asimil. Domiciliario (Otros)	74.622
Especiales	138.672
Orgánico	104.380
Orgánico (Otros)	7.020
Rechazos	3.503.762
Rechazos (E.S.P.)	20.630
Rechazos Yumbo	4.542.883
Tierra y escombros	62.050
Orgánico Compost	18.093
TOTAL	575.358.601

Tabla 7. Relación de tipo de residuo dispuesto en el relleno transitorio de Navarro año 2005.

TOTAL RESIDUOS DISPUESTOS 2005	Producción (Kl.)
TIPO	
Barrido-Transitorio	49.530.621
Clínicos (E)	1.449.405
Domiciliarios	45.208.768
Domicilio transitorio	393.718.414
Especiales (E)	122.087
Orgánico-Transitorio	17.099.812
Rechazos-Transitorio	28.155.109
Restos poda - Transitorio	471.465
Tierra y escombros - Transitorio	12.763.957
Especiales	655.185
Orgánico	771.090
Rechazos	23.246.382
Clínicos	114.201
Restos de Poda	92.510
Tierra y escombros	927.584
Orgánico Compost	408.702
TOTAL	574.735.292

Tabla 8. Relación de tipo de residuo dispuesto en el relleno transitorio de Navarro año 2006.

RESIDUOS DISPUESTOS 2006	Producción (Kl.)
TIPO	
Clínicos	1.848.715
Barrido	47.375.319
Domiciliarios	180.689.949
Domicilio	286.963.950
Especiales	772.643
Especiales (+ 3 frecuencia)	15.337.871
Industriales	29.520.630
Lodos (E)	9.084
Orgánico	17.733.965
Orgánico Compost	7.113
Rechazos	27.436.987
Restos de Poda	134.890
Restos poda / vegeta	1.414.803
Tierra - escombros	4.230.640
Tierra - escombros	110.040
Orgánico	126.020
TOTAL	613.712.619

Tabla 9. Tipo de residuo que aporta al proceso de gasificación⁶⁸.

TIPO DE RESIDUO	PORCENTAJE (%)
Material putrescible	77%
Papel y cartón	1%
Textiles	0.2%
Residuos de jardinería	3%
Otros	18,8%

Tabla 10. Datos de funcionamiento de los vasos de Navarro⁶⁹.

VASOS	FECHA DE INICIO Y CIERRE.	ALTURA (m) PROYECTADA	TONELADAS DISPUESTAS
Vaso 1	Desde el 1° de octubre del año 2001 hasta el 31 de agosto del 2002 (11 meses)	17	452.038 toneladas de residuos.
Vaso 2	Desde el 1° de octubre del año 2001 hasta el 31 de agosto del 2002 (11 meses).	17	
Vaso 3	Desde el 1° de octubre del año 2001 hasta el 31 de agosto del 2002 (11 meses).	17	
Vaso 4	Desde el 1° de septiembre del año 2002 hasta el 28 de febrero del año de 2003 (6 meses).	18	304,113 toneladas de residuos (204,9976 en 2001 y 99,137 en 2002)
Vaso 5	Desde el 1° de marzo del año 2003 hasta el 14 de septiembre del 2004 (18 meses y 14 días).	18	1'407,765 toneladas de residuos (570,675 en 2003 y 837,090 en 2004)
Vaso 6		18	
Vaso C		18	
Vaso D	Desde el 15 de septiembre del año 2004 hasta el 2006.	17	794,204 toneladas de residuos (171,574 en 2004, 574,735 en el 2005 y 47,895 en el 2006)

⁶⁸ Caracterización efectuada en las comunas 2 y 6 de la Ciudad de Cali en el mes de enero de 2004. Ingeniero Sanitario Ramón Duque Muñoz.

⁶⁹ Archivo de EMSIRVA E.S.P.

Tabla 11. Datos adicionales precisados, recopilados y estimados, necesarios para el desarrollo del estudio.

DATO	VALOR
Año de apertura Vasos Navarro	1 de octubre del 2001
Año de cierre	Proyectado para el mes de junio del 2008. Según plazo dado por autoridad ambiental competente (CVC).
Altitud	962 m.s.n.m.
Latitud	3 ° N 76° W.
Presión atmosférica de Cali ⁷⁰	897 milibares
Temperatura media anual de Cali ⁷¹	23,8 °C.
Precipitación promedio anual ⁷²	908 m.m.
Brillo solar promedio anual ⁷³	162 horas
Eficiencia del sistema de recolección de biogás ⁷⁴	68 %
Humedad relativa promedio anual ⁷⁵	73% (esencial para el metabolismo de las bacterias)
La Humedad de la Basura ⁷⁶	Humedad del material putrescible 79%
	Humedad del papel y cartón 23%
	Humedad de los textiles 28%
	Humedad de la poda de jardines 58%
Densidad de la basura	0,7 ton / m ³
Capacidad estimada de Navarro.	19.2 millones de toneladas de basura
Grosor de la capa de cobertura	15 cm.
Material utilizado para impermeabilización	Geomembrana de polietileno de alta densidad; 50 cm. De arcilla; 20 cm. De tierra; 30 cm. De piedra de río.

⁷⁰ IDEAM. Datos meteorológicos de Santiago de Cali.

⁷¹ IDEAM. Datos meteorológicos de Santiago de Cali.

⁷² www.worldclimate.com; IDEAM. Datos meteorológicos de Santiago de Cali.

⁷³ IDEAM. Datos meteorológicos de Santiago de Cali. El dato similar encontrado en la estación meteorológica de la Corporación Autónoma del Valle del Cauca registrado es de 1091,1 mm durante 24 años y a 7,32 Km. de distancia del área de estudio.

⁷⁴ EPA. 2007. Se refiere al porcentaje de la generación del biogás que se estima que puede ser recuperado por el sistema de recolección.

⁷⁵ IDEAM. Datos meteorológicos de Santiago de Cali.

⁷⁶ Trabajo efectuado por Ivette Gómez, Tesista del Programa de Ingeniería Sanitaria de la Universidad del Valle.

Tabla 12. Proyecciones de generación y recuperación de biogás –vasos 1, 2, 3.

**PROYECCIONES DE GENERACION Y RECUPERACION DE BIOGAS
RELLENO SANITARIO NAVARRO CALI- VASO 1,2,3-**

Año	Indice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/año)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/yr)
2001	47.906	47.906	0,0	0	0	0%	0,0	0	0
2002	404.132	452.038	1,0	60	9.859	0%	0,0	0	0
2003	0	452.038	9,3	560	92.405	60%	5,6	336	55.443
2004	0	452.038	8,7	524	86.590	60%	5,2	315	51.954
2005	0	452.038	8,2	491	81.141	60%	4,9	295	48.684
2006	0	452.038	7,7	460	76.034	60%	4,6	276	45.621
2007	0	452.038	7,2	431	71.249	60%	4,3	259	42.749
2008	0	452.038	6,7	404	66.765	60%	4,0	243	40.059
2009	0	452.038	6,3	379	62.564	60%	3,8	227	37.538
2010	0	452.038	5,9	355	58.626	60%	3,5	213	35.176
2011	0	452.038	5,5	333	54.937	60%	3,3	200	32.962
2012	0	452.038	5,2	312	51.479	60%	3,1	187	30.888
2013	0	452.038	4,9	292	48.240	60%	2,9	175	28.944
2014	0	452.038	4,6	274	45.204	60%	2,7	164	27.122
2015	0	452.038	4,3	256	42.359	60%	2,6	154	25.415
2016	0	452.038	4,0	240	39.693	60%	2,4	144	23.816
2017	0	452.038	3,8	225	37.195	60%	2,3	135	22.317
2018	0	452.038	3,5	211	34.855	60%	2,1	127	20.913
2019	0	452.038	3,3	198	32.661	60%	2,0	119	19.597
2020	0	452.038	3,1	185	30.606	60%	1,9	111	18.363
2021	0	452.038	2,9	174	28.680	60%	1,7	104	17.208
2022	0	452.038	2,7	163	26.875	60%	1,6	98	16.125
2023	0	452.038	2,5	152	25.183	60%	1,5	91	15.110
2024	0	452.038	2,4	143	23.598	60%	1,4	86	14.159
2025	0	452.038	2,2	134	22.113	60%	1,3	80	13.268
2026	0	452.038	2,1	125	20.722	60%	1,3	75	12.433
2027	0	452.038	2,0	118	19.418	60%	1,2	71	11.651
2028	0	452.038	1,8	110	18.196	60%	1,1	66	10.917
2029	0	452.038	1,7	103	17.051	60%	1,0	62	10.230
2030	0	452.038	1,6	97	15.978	60%	1,0	58	9.587
2031	0	452.038	1,5	91	14.972	60%	0,9	54	8.983
2032	0	452.038	1,4	85	14.030	60%	0,8	51	8.418
2033	0	452.038	1,3	80	13.147	60%	0,8	48	7.888
2034	0	452.038	1,2	75	12.319	60%	0,7	45	7.392
2035	0	452.038	1,2	70	11.544	60%	0,7	42	6.927
2036	0	452.038	1,1	66	10.818	60%	0,7	39	6.491
2037	0	452.038	1,0	61	10.137	60%	0,6	37	6.082
2038	0	452.038	1,0	58	9.499	60%	0,6	35	5.699
2039	0	452.038	0,9	54	8.901	60%	0,5	32	5.341
2040	0	452.038	0,8	51	8.341	60%	0,5	30	5.005
2041	0	452.038	0,8	47	7.816	60%	0,5	28	4.690
2042	0	452.038	0,7	44	7.324	60%	0,4	27	4.395
2043	0	452.038	0,7	42	6.863	60%	0,4	25	4.118
2044	0	452.038	0,6	39	6.431	60%	0,4	23	3.859
2045	0	452.038	0,6	36	6.027	60%	0,4	22	3.616
2046	0	452.038	0,6	34	5.647	60%	0,3	21	3.388
2047	0	452.038	0,5	32	5.292	60%	0,3	19	3.175
2048	0	452.038	0,5	30	4.959	60%	0,3	18	2.975
2049	0	452.038	0,5	28	4.647	60%	0,3	17	2.788
2050	0	452.038	0,4	26	4.354	60%	0,3	16	2.613
2051	0	452.038	0,4	25	4.080	0%	0,0	0	0
2052	0	452.038	0,4	23	3.824	0%	0,0	0	0
2053	0	452.038	0,4	22	3.583	0%	0,0	0	0
2054	0	452.038	0,3	20	3.357	0%	0,0	0	0
2055	0	452.038	0,3	19	3.146	0%	0,0	0	0
2056	0	452.038	0,3	18	2.948	0%	0,0	0	0
2057	0	452.038	0,3	17	2.763	0%	0,0	0	0
2058	0	452.038	0,3	16	2.589	0%	0,0	0	0
2059	0	452.038	0,2	15	2.426	0%	0,0	0	0
2060	0	452.038	0,2	14	2.273	0%	0,0	0	0

NOTES:

Contenido de Metano:
Página 89 de 15
Móvil: 300-8254797

50%
0,065 /año
84 m³/ton

CALCULOS: WILFRIDO VALLEJO PATIÑO
Autor: Wilfrido Vallejo Patiño

Tabla 13. Proyecciones de generación y recuperación de biogás -vasos 4.

**PROYECCIONES DE GENERACION Y RECUPERACION DE BIOGAS
RELLENO SANITARIO NAVARRO CALI- VASO 4**

Año	Indice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	(Ton/año)	(Ton)	(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/año)	(%)	(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/yr)
2001	204.976	204.976	0,0	0	0	0%	0,0	0	0
2002	99.137	304.113	4,3	255	42.182	0%	0,0	0	0
2003	0	304.113	6,0	363	59.929	68%	4,1	247	40.752
2004	0	304.113	5,7	340	56.158	68%	3,9	231	38.187
2005	0	304.113	5,3	319	52.624	68%	3,6	217	35.784
2006	0	304.113	5,0	299	49.312	68%	3,4	203	33.532
2007	0	304.113	4,7	280	46.209	68%	3,2	190	31.422
2008	0	304.113	4,4	262	43.301	68%	3,0	178	29.444
2009	0	304.113	4,1	246	40.576	68%	2,8	167	27.591
2010	0	304.113	3,8	230	38.022	68%	2,6	157	25.855
2011	0	304.113	3,6	216	35.629	68%	2,4	147	24.228
2012	0	304.113	3,4	202	33.387	68%	2,3	137	22.703
2013	0	304.113	3,2	189	31.286	68%	2,1	129	21.274
2014	0	304.113	3,0	178	29.317	68%	2,0	121	19.936
2015	0	304.113	2,8	166	27.472	68%	1,9	113	18.681
2016	0	304.113	2,6	156	25.743	68%	1,8	106	17.505
2017	0	304.113	2,4	146	24.123	68%	1,7	99	16.404
2018	0	304.113	2,3	137	22.605	68%	1,6	93	15.371
2019	0	304.113	2,1	128	21.182	68%	1,5	87	14.404
2020	0	304.113	2,0	120	19.849	68%	1,4	82	13.497
2021	0	304.113	1,9	113	18.600	68%	1,3	77	12.648
2022	0	304.113	1,8	106	17.430	68%	1,2	72	11.852
2023	0	304.113	1,6	99	16.333	68%	1,1	67	11.106
2024	0	304.113	1,5	93	15.305	68%	1,1	63	10.407
2025	0	304.113	1,4	87	14.342	68%	1,0	59	9.752
2026	0	304.113	1,4	81	13.439	68%	0,9	55	9.139
2027	0	304.113	1,3	76	12.593	68%	0,9	52	8.563
2028	0	304.113	1,2	71	11.801	68%	0,8	49	8.025
2029	0	304.113	1,1	67	11.058	68%	0,8	46	7.520
2030	0	304.113	1,0	63	10.362	68%	0,7	43	7.046
2031	0	304.113	1,0	59	9.710	68%	0,7	40	6.603
2032	0	304.113	0,9	55	9.099	68%	0,6	37	6.187
2033	0	304.113	0,9	52	8.526	68%	0,6	35	5.798
2034	0	304.113	0,8	48	7.990	68%	0,5	33	5.433
2035	0	304.113	0,8	45	7.487	68%	0,5	31	5.091
2036	0	304.113	0,7	42	7.016	68%	0,5	29	4.771
2037	0	304.113	0,7	40	6.574	68%	0,5	27	4.471
2038	0	304.113	0,6	37	6.161	68%	0,4	25	4.189
2039	0	304.113	0,6	35	5.773	68%	0,4	24	3.926
2040	0	304.113	0,5	33	5.410	68%	0,4	22	3.678
2041	0	304.113	0,5	31	5.069	68%	0,3	21	3.447
2042	0	304.113	0,5	29	4.750	68%	0,3	20	3.230
2043	0	304.113	0,4	27	4.451	68%	0,3	18	3.027
2044	0	304.113	0,4	25	4.171	68%	0,3	17	2.836
2045	0	304.113	0,4	24	3.909	68%	0,3	16	2.658
2046	0	304.113	0,4	22	3.663	68%	0,3	15	2.491
2047	0	304.113	0,3	21	3.432	68%	0,2	14	2.334
2048	0	304.113	0,3	19	3.216	68%	0,2	13	2.187
2049	0	304.113	0,3	18	3.014	68%	0,2	12	2.049
2050	0	304.113	0,3	17	2.824	68%	0,2	12	1.920

NOTES:

Contenido de Metano: 50%
 Indice de Generacion de Metano (k): 0,065 /año
 Generacion Potencial de Metano (L₀): 84 m³/ton

CALCULOS: WILFRIDO VALLEJO PATIÑO

Tabla 14. Proyecciones de generación y recuperación de biogás -vasos 5, 6 y C.

**PROYECCIONES DE GENERACION Y RECUPERACION DE BIOGAS
RELLENO SANITARIO NAVARRO CALI- VASO 5-6 Y C.**

Año	Indice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/año)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/yr)
2003	570.675	570.675	0,0	0	0	0%	0,0	0	0
2004	837.090	1.407.765	11,9	711	117.440	0%	0,0	0	0
2005	0	1.407.765	28,5	1709	282.315	68%	19,4	1.162	191.974
2006	0	1.407.765	26,7	1602	264.549	68%	18,2	1.089	179.893
2007	0	1.407.765	25,0	1501	247.900	68%	17,0	1.021	168.572
2008	0	1.407.765	23,4	1407	232.299	68%	15,9	956	157.963
2009	0	1.407.765	22,0	1318	217.680	68%	14,9	896	148.022
2010	0	1.407.765	20,6	1235	203.981	68%	14,0	840	138.707
2011	0	1.407.765	19,3	1157	191.144	68%	13,1	787	129.978
2012	0	1.407.765	18,1	1085	179.114	68%	12,3	737	121.798
2013	0	1.407.765	16,9	1016	167.842	68%	11,5	691	114.133
2014	0	1.407.765	15,9	952	157.280	68%	10,8	648	106.950
2015	0	1.407.765	14,9	892	147.382	68%	10,1	607	100.219
2016	0	1.407.765	13,9	836	138.106	68%	9,5	569	93.912
2017	0	1.407.765	13,1	784	129.415	68%	8,9	533	88.002
2018	0	1.407.765	12,2	734	121.271	68%	8,3	499	82.464
2019	0	1.407.765	11,5	688	113.639	68%	7,8	468	77.274
2020	0	1.407.765	10,7	645	106.487	68%	7,3	438	72.411
2021	0	1.407.765	10,1	604	99.786	68%	6,8	411	67.854
2022	0	1.407.765	9,4	566	93.506	68%	6,4	385	63.584
2023	0	1.407.765	8,8	531	87.621	68%	6,0	361	59.583
2024	0	1.407.765	8,3	497	82.107	68%	5,6	338	55.833
2025	0	1.407.765	7,8	466	76.940	68%	5,3	317	52.319
2026	0	1.407.765	7,3	437	72.098	68%	4,9	297	49.027
2027	0	1.407.765	6,8	409	67.561	68%	4,6	278	45.941
2028	0	1.407.765	6,4	383	63.309	68%	4,3	261	43.050
2029	0	1.407.765	6,0	359	59.325	68%	4,1	244	40.341
2030	0	1.407.765	5,6	337	55.591	68%	3,8	229	37.802
2031	0	1.407.765	5,3	315	52.093	68%	3,6	214	35.423
2032	0	1.407.765	4,9	296	48.814	68%	3,3	201	33.194
2033	0	1.407.765	4,6	277	45.742	68%	3,1	188	31.105
2034	0	1.407.765	4,3	260	42.864	68%	2,9	176	29.147
2035	0	1.407.765	4,1	243	40.166	68%	2,8	165	27.313
2036	0	1.407.765	3,8	228	37.638	68%	2,6	155	25.594
2037	0	1.407.765	3,6	214	35.270	68%	2,4	145	23.983
2038	0	1.407.765	3,3	200	33.050	68%	2,3	136	22.474
2039	0	1.407.765	3,1	188	30.970	68%	2,1	128	21.060
2040	0	1.407.765	2,9	176	29.021	68%	2,0	119	19.734
2041	0	1.407.765	2,7	165	27.195	68%	1,9	112	18.492
2042	0	1.407.765	2,6	154	25.483	68%	1,7	105	17.329
2043	0	1.407.765	2,4	145	23.880	68%	1,6	98	16.238
2044	0	1.407.765	2,3	135	22.377	68%	1,5	92	15.216
2045	0	1.407.765	2,1	127	20.969	68%	1,4	86	14.259
2046	0	1.407.765	2,0	119	19.649	68%	1,3	81	13.361
2047	0	1.407.765	1,9	111	18.412	68%	1,3	76	12.520
2048	0	1.407.765	1,7	104	17.254	68%	1,2	71	11.732
2049	0	1.407.765	1,6	98	16.168	68%	1,1	67	10.994
2050	0	1.407.765	1,5	92	15.150	68%	1,0	62	10.302
2051	0	1.407.765	1,4	86	14.197	68%	1,0	58	9.654
2052	0	1.407.765	1,3	81	13.303	68%	0,9	55	9.046
2053	0	1.407.765	1,3	75	12.466	68%	0,9	51	8.477
2054	0	1.407.765	1,2	71	11.682	68%	0,8	48	7.944
2055	0	1.407.765	1,1	66	10.947	68%	0,8	45	7.444
2056	0	1.407.765	1,0	62	10.258	68%	0,7	42	6.975
2057	0	1.407.765	1,0	58	9.612	68%	0,7	40	6.536
2058	0	1.407.765	0,9	55	9.007	68%	0,6	37	6.125
2059	0	1.407.765	0,9	51	8.440	68%	0,6	35	5.739
2060	0	1.407.765	0,8	48	7.909	68%	0,5	33	5.378
2061	0	1.407.765	0,7	45	7.411	68%	0,5	31	5.040
2062	0	1.407.765	0,7	42	6.945	68%	0,5	29	4.723

NOTES:

Contenido de Metano: 50%
 Indice de Generacion de Metano (k): 0,065 /año
 Generacion Potencial de Metano (L₀): 84 m³/ton

Tabla 15. Proyecciones de generación y recuperación de biogás -vasos D-

**PROYECCIONES DE GENERACION Y RECUPERACION DE BIOGAS
RELLENO SANITARIO DE NAVARRO -VASO D**

Año	Indice de Disposición	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	(Ton/año)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/año)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/yr)
2004	171.574	171.574	0,0	0	0	0%	0,0	0	0
2005	574.735	746.309	3,6	214	35.308	0%	0,0	0	0
2006	47.895	794.204	15,3	916	151.362	0%	0,0	0	0
2007	0	794.204	15,3	918	151.693	68%	10,4	625	103.151
2008	0	794.204	14,3	861	142.146	68%	9,8	585	96.660
2009	0	794.204	13,4	807	133.201	68%	9,1	548	90.577
2010	0	794.204	12,6	756	124.818	68%	8,6	514	84.876
2011	0	794.204	11,8	708	116.963	68%	8,0	482	79.535
2012	0	794.204	11,1	664	109.602	68%	7,5	451	74.530
2013	0	794.204	10,4	622	102.705	68%	7,0	423	69.839
2014	0	794.204	9,7	583	96.241	68%	6,6	396	65.444
2015	0	794.204	9,1	546	90.185	68%	6,2	371	61.325
2016	0	794.204	8,5	512	84.509	68%	5,8	348	57.466
2017	0	794.204	8,0	479	79.191	68%	5,4	326	53.850
2018	0	794.204	7,5	449	74.207	68%	5,1	306	50.461
2019	0	794.204	7,0	421	69.537	68%	4,8	286	47.285
2020	0	794.204	6,6	395	65.161	68%	4,5	268	44.309
2021	0	794.204	6,2	370	61.060	68%	4,2	251	41.521
2022	0	794.204	5,8	346	57.217	68%	3,9	236	38.908
2023	0	794.204	5,4	325	53.617	68%	3,7	221	36.459
2024	0	794.204	5,1	304	50.242	68%	3,4	207	34.165
2025	0	794.204	4,8	285	47.080	68%	3,2	194	32.015
2026	0	794.204	4,5	267	44.118	68%	3,0	182	30.000
2027	0	794.204	4,2	250	41.341	68%	2,8	170	28.112
2028	0	794.204	3,9	235	38.739	68%	2,7	160	26.343
2029	0	794.204	3,7	220	36.301	68%	2,5	149	24.685
2030	0	794.204	3,4	206	34.017	68%	2,3	140	23.131
2031	0	794.204	3,2	193	31.876	68%	2,2	131	21.676
2032	0	794.204	3,0	181	29.870	68%	2,0	123	20.312
2033	0	794.204	2,8	169	27.990	68%	1,9	115	19.033
2034	0	794.204	2,6	159	26.229	68%	1,8	108	17.836
2035	0	794.204	2,5	149	24.578	68%	1,7	101	16.713
2036	0	794.204	2,3	139	23.031	68%	1,6	95	15.661
2037	0	794.204	2,2	131	21.582	68%	1,5	89	14.676
2038	0	794.204	2,0	122	20.224	68%	1,4	83	13.752
2039	0	794.204	1,9	115	18.951	68%	1,3	78	12.887
2040	0	794.204	1,8	108	17.758	68%	1,2	73	12.076
2041	0	794.204	1,7	101	16.641	68%	1,1	69	11.316
2042	0	794.204	1,6	94	15.594	68%	1,1	64	10.604
2043	0	794.204	1,5	88	14.612	68%	1,0	60	9.936
2044	0	794.204	1,4	83	13.693	68%	0,9	56	9.311
2045	0	794.204	1,3	78	12.831	68%	0,9	53	8.725
2046	0	794.204	1,2	73	12.023	68%	0,8	50	8.176
2047	0	794.204	1,1	68	11.267	68%	0,8	46	7.661
2048	0	794.204	1,1	64	10.558	68%	0,7	43	7.179
2049	0	794.204	1,0	60	9.893	68%	0,7	41	6.727
2050	0	794.204	0,9	56	9.271	68%	0,6	38	6.304
2051	0	794.204	0,9	53	8.687	68%	0,6	36	5.907
2052	0	794.204	0,8	49	8.141	68%	0,6	34	5.536
2053	0	794.204	0,8	46	7.628	68%	0,5	31	5.187
2054	0	794.204	0,7	43	7.148	68%	0,5	29	4.861
2055	0	794.204	0,7	41	6.698	68%	0,5	28	4.555
2056	0	794.204	0,6	38	6.277	68%	0,4	26	4.268
2057	0	794.204	0,6	36	5.882	68%	0,4	24	4.000
2058	0	794.204	0,6	33	5.512	68%	0,4	23	3.748
2059	0	794.204	0,5	31	5.165	68%	0,4	21	3.512
2060	0	794.204	0,5	29	4.840	68%	0,3	20	3.291

NOTES:

Contenido de Metano: 50%
 Indice de Generacion de Metano (k): 0,065 /año
 Generacion Potencial de Metano (L₀): 84 m³/ton

Tabla 16. Proyecciones de generación y recuperación de biogás de Navarro (periodo 2001 al 2025).

CALCULATION SHEET - DO NOT EDIT OR DELETE Converts to tons: 1,1023
ESTIMATED LFG GENERATION

Year	Disposal Rate (tons/yr)	Refuse In-Place (tons)	Methane Generation			LFG Generation		
			cf/yr	(cfm)	(mmBtu/hr)	(cfm)	(cf/lb-yr)	(mmcf/day)
2001	278.755	278.755	0	-	0,000	-	0,000	0,000
2002	671.427	950.181	48.740.257	93	5,631	185	0,051	0,267
2003	738.301	1.688.482	163.071.855	310	18,839	621	0,097	0,894
2004	634.225	2.322.707	281.901.181	536	32,567	1,073	0,121	1,545
2005	633.537	2.956.243	375.054.618	714	43,328	1,427	0,127	2,055
2006	676.503	3.632.746	462.225.404	879	53,399	1,759	0,127	2,533
2007	506.365	4.139.112	551.422.897	1.049	63,703	2,098	0,133	3,021
2008	38	4.139.150	605.258.452	1.152	69,923	2,303	0,146	3,316
2009	-	4.139.150	567.174.623	1.079	65,523	2,158	0,137	3,108
2010	-	4.139.150	531.480.885	1.011	61,399	2,022	0,128	2,912
2011	-	4.139.150	498.033.445	948	57,535	1,895	0,120	2,729
2012	-	4.139.150	466.690.937	888	53,915	1,776	0,113	2,557
2013	-	4.139.150	437.320.892	832	50,522	1,664	0,106	2,396
2014	-	4.139.150	409.799.179	780	47,342	1,559	0,099	2,245
2015	-	4.139.150	384.009.477	731	44,363	1,461	0,093	2,104
2016	-	4.139.150	359.842.787	685	41,571	1,369	0,087	1,972
2017	-	4.139.150	337.196.968	642	38,955	1,283	0,081	1,848
2018	-	4.139.150	315.976.307	601	36,503	1,202	0,076	1,731
2019	-	4.139.150	296.091.117	563	34,206	1,127	0,072	1,622
2020	-	4.139.150	277.457.352	528	32,053	1,056	0,067	1,520
2021	-	4.139.150	259.996.257	495	30,036	989	0,063	1,425
2022	-	4.139.150	243.634.033	464	28,146	927	0,059	1,335
2023	-	4.139.150	228.301.525	434	26,375	869	0,055	1,251
2024	-	4.139.150	213.933.931	407	24,715	814	0,052	1,172
2025	-	4.139.150	200.470.526	381	23,159	763	0,048	1,098

Tabla 17. Proyección de la generación de energía bruta y corriente eléctrica a partir del metano proveniente del biogás de Navarro.

Año	Generación de Biogás		Energía Bruta	Potencia	
	(m ³ /hr)	(G J/año)	(GJ/año)	(MW)	horsepower (hp)
2009	3.667	605.584	605.584	19	25.742
2010	3.436	567.473	567.473	18	24.122
2011	3.220	531.761	531.761	17	22.604
2012	3.017	498.296	498.296	16	21.181
2013	2.827	466.937	466.937	15	19.848
2014	2.649	437.551	437.551	14	18.599
2015	2.483	410.015	410.015	13	17.428
2016	2.326	384.212	384.212	12	16.332

Año	Generación de Biogás		Energía Bruta	Potencia	
	(m ³ /hr)	(G J/año)	(GJ/año)	(MW)	horsepower (hp)
2017	2.180	360.032	244.930	8	10.411
2018	2.043	337.374	229.516	7	9.756
2019	1.914	316.143	215.072	7	9.142
2020	1.794	296.247	201.537	6	8.567
2021	1.681	277.603	188.853	6	8.028
2022	1.575	260.133	176.968	6	7.522
2023	1.476	243.762	165.831	5	7.049
2024	1.383	228.422	155.395	5	6.605
2025	1.296	214.047	145.616	5	6.190

Tabla 18. Beneficios anuales totales proyectados 2009-2025.

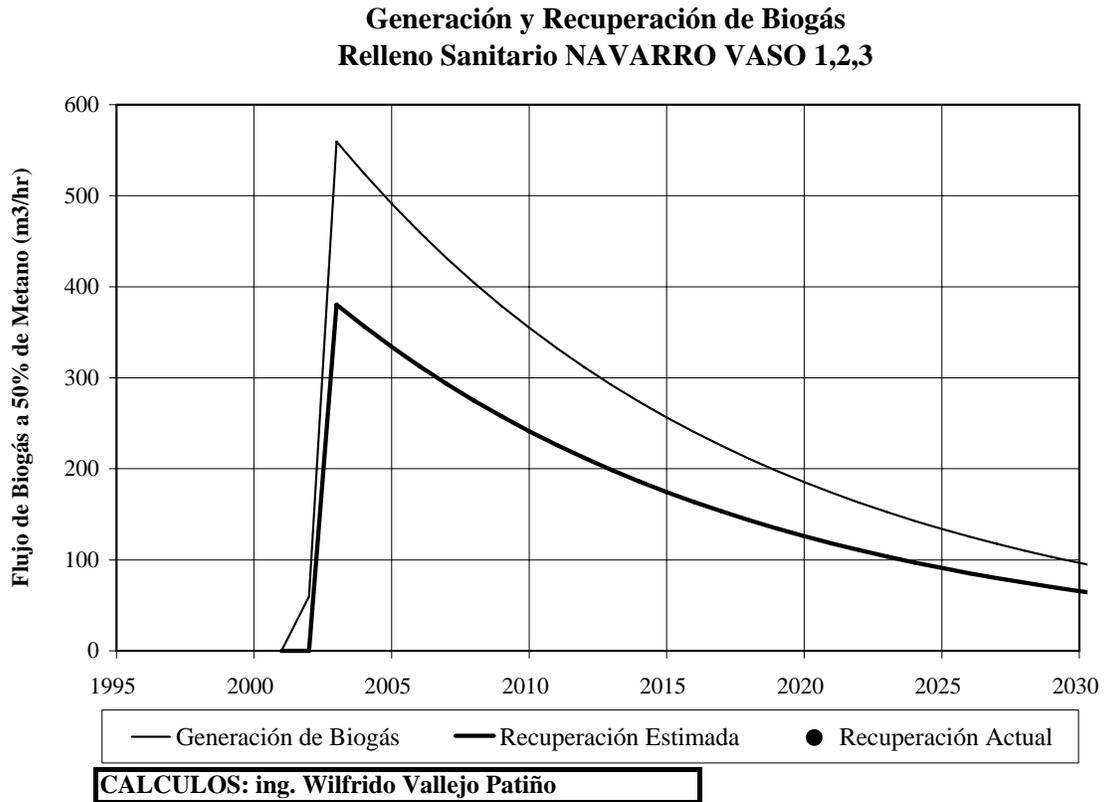
TABLA DE BENEFICIOS ANUALES TOTALES
1. Remoción de emisiones equivalente a 524.962 vehículos.
2. Plantado de 302.733,5 hectáreas de bosque.
3. Previniendo el uso de 6'366.563 barriles de aceite.
5. Sustituyendo el uso de 299'228.475 galones de gasolina.

Tabla 19. Proyecciones de la posible venta de RCE e ingresos a la empresa EMSIRVA E.S.P. correspondiente a las regalías por concepto de la utilidad de la venta de bonos de carbono o RCE.

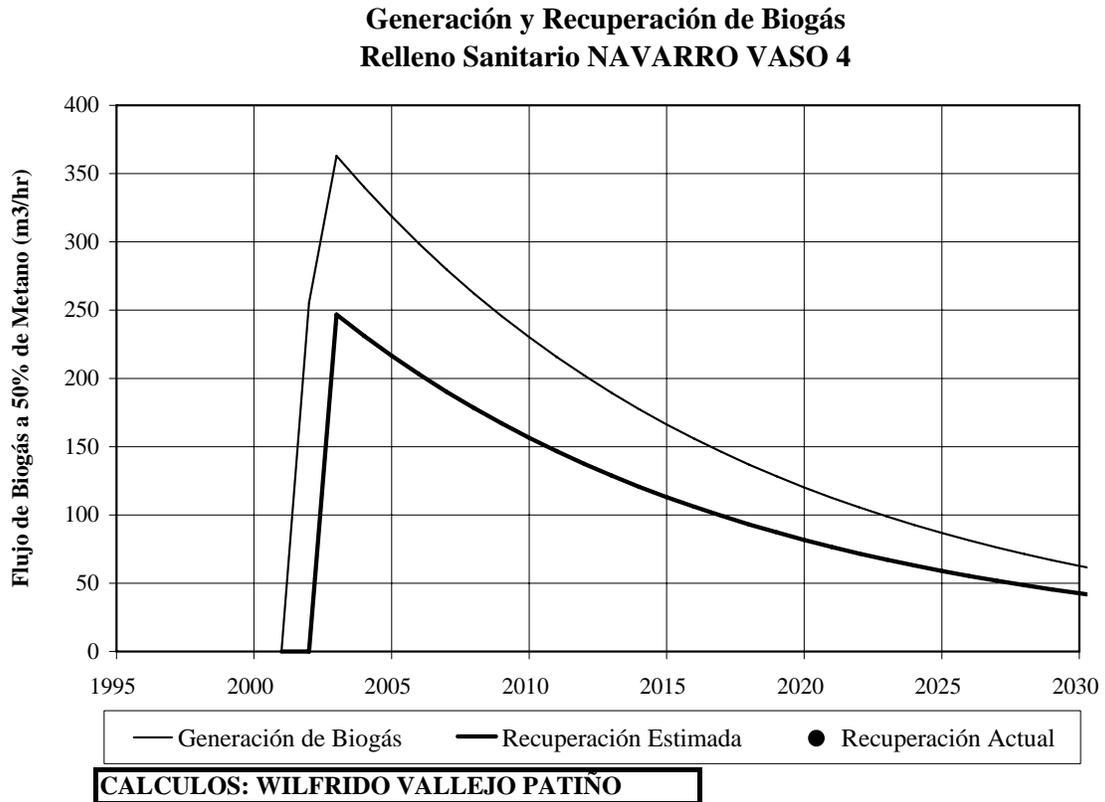
PROYECCIONES DE BONOS DE CARBONO Y POSIBLES INGRESOS PARA EMSIRVA E.S.P.			
(Regalías equivalente al 30% de las ganancias por la venta de RCE. (RCE a 8 Euros)(1 euro =\$1800).			
Año	Valor por venta de RCE	Posibles regalías que ingresarían a EMSIRVA E.S.P	Posibles regalías que ingresarían a EMSIRVA E.S.P (en \$ pesos)
2009	€ 1.865.314,5	€ 559.594,4	\$ 1.007.269.854,7
2010	€ 1.747.911,2	€ 524.373,4	\$ 943.872.039,0
2011	€ 1.637.896,3	€ 491.368,9	\$ 884.464.008,6
2012	€ 1.534.805,0	€ 460.441,5	\$ 828.794.676,3
2013	€ 1.438.201,4	€ 431.460,4	\$ 776.628.756,3
2014	€ 1.347.677,4	€ 404.303,2	\$ 727.745.770,0
2015	€ 1.262.850,2	€ 378.855,1	\$ 681.939.114,0
2016	€ 1.183.361,5	€ 355.008,4	\$ 639.015.187,0
2017	€ 1.108.875,1	€ 332.662,5	\$ 598.792.571,7
2018	€ 1.039.076,4	€ 311.722,9	\$ 561.101.267,6
2019	€ 973.670,3	€ 292.101,1	\$ 525.781.972,8
2020	€ 912.380,4	€ 273.714,1	\$ 492.685.410,9
2021	€ 854.947,6	€ 256.484,3	\$ 461.671.699,5
2022	€ 801.129,2	€ 240.338,8	\$ 432.609.759,7
2023	€ 750.697,7	€ 225.209,3	\$ 405.376.761,5
2024	€ 703.440,0	€ 211.032,0	\$ 379.857.604,9
2025	€ 659.156,4	€ 197.746,9	\$ 355.944.433,6
Total	€ 19.821.391	€ 5.946.417,2	\$ 10.703.550.887,8

12. ANEXO GRÁFICAS.

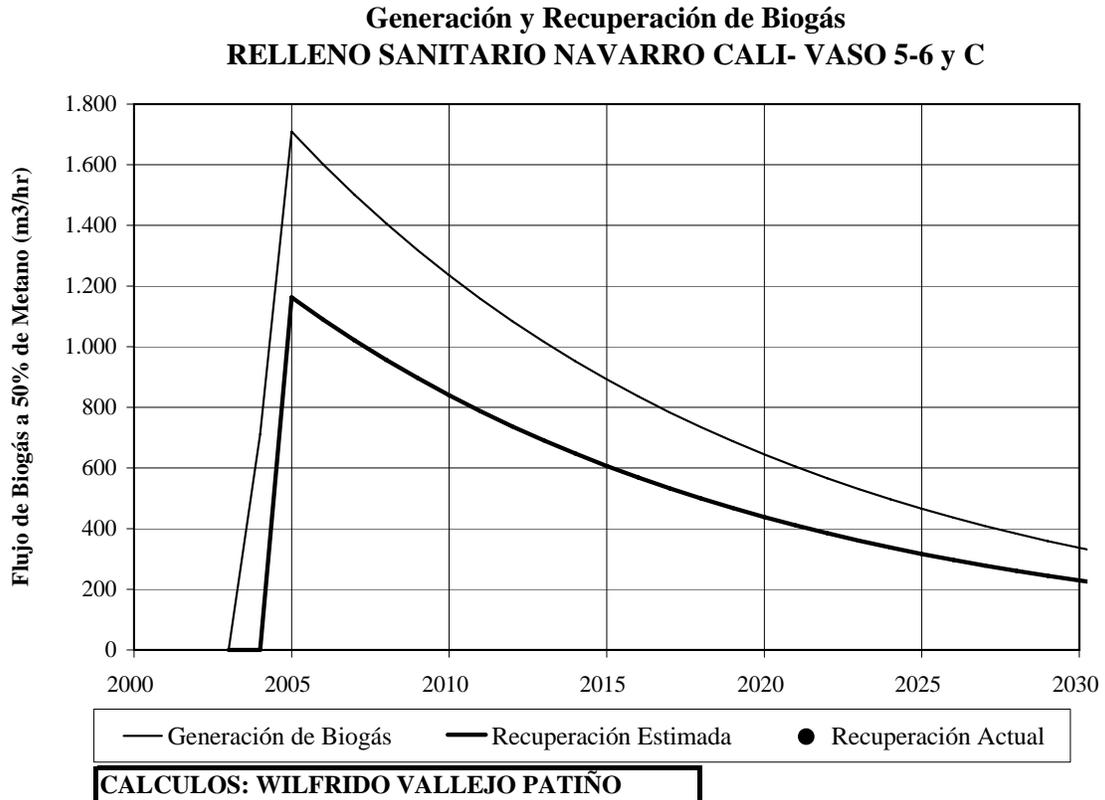
Gráfica 1. Generación y recuperación de biogás - Vasos 1, 2, 3.



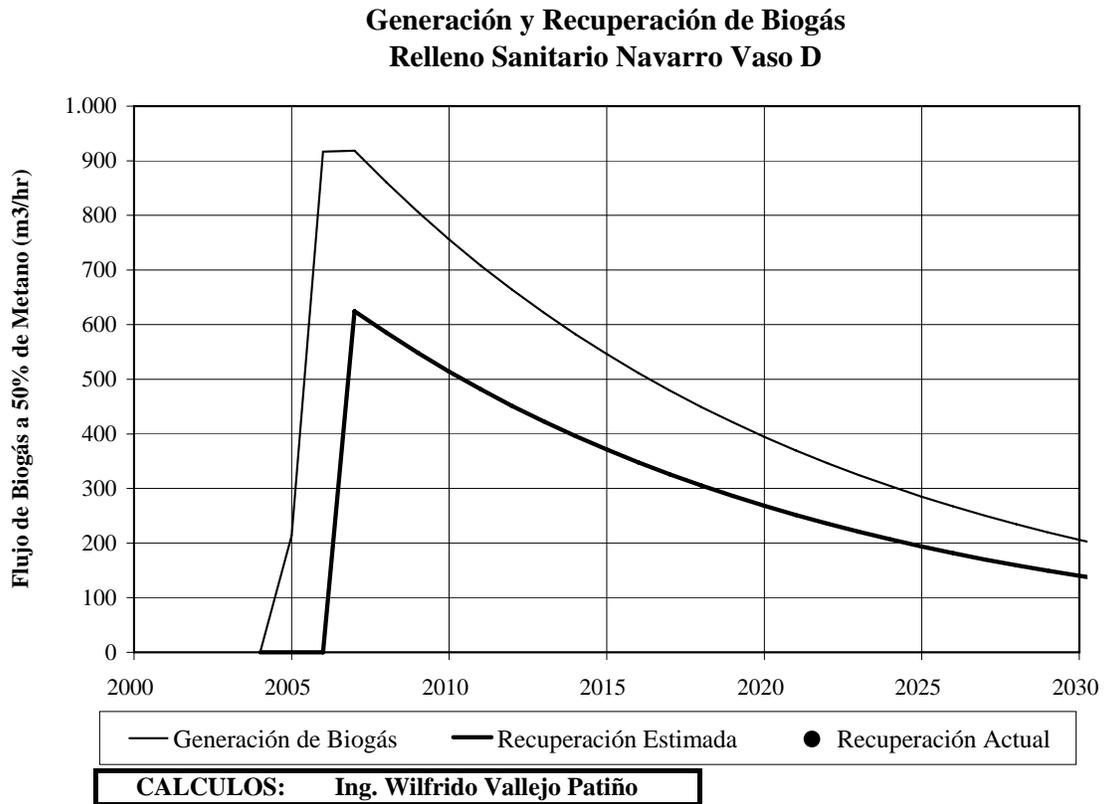
Gráfica 2. Generación y recuperación de biogás - Vasos 4.



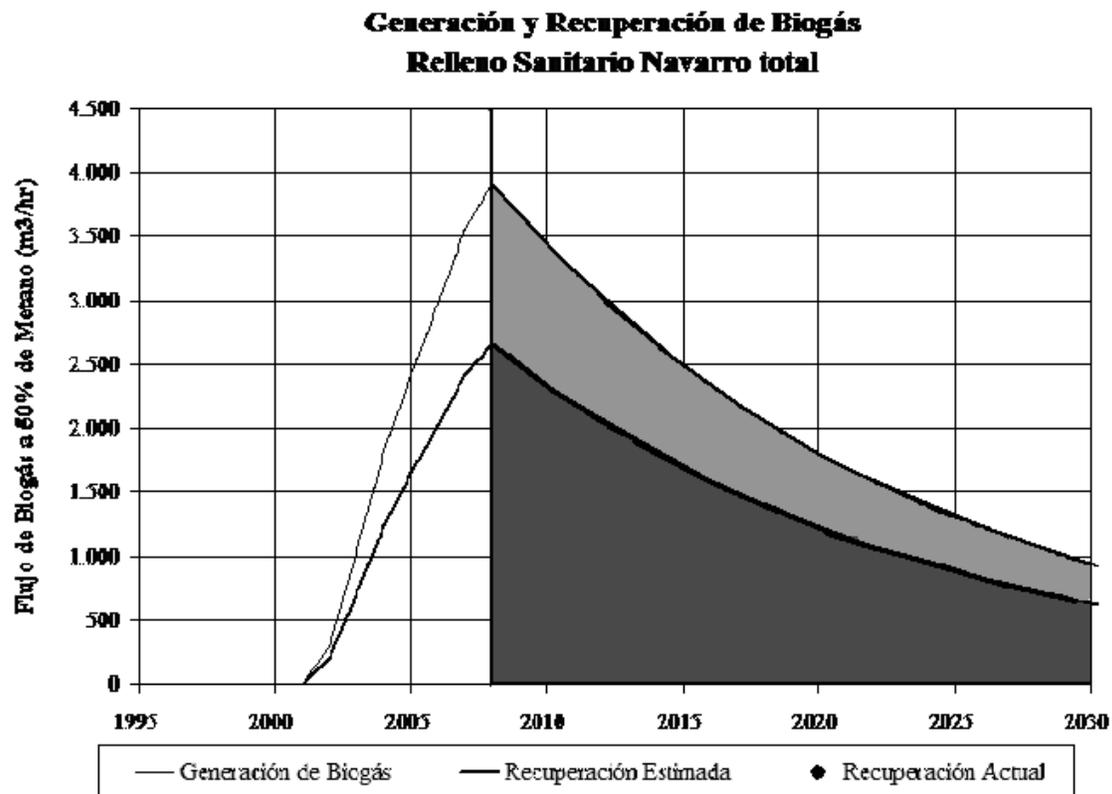
Gráfica 3. Generación y recuperación de biogás - Vasos 5, 6 y C.



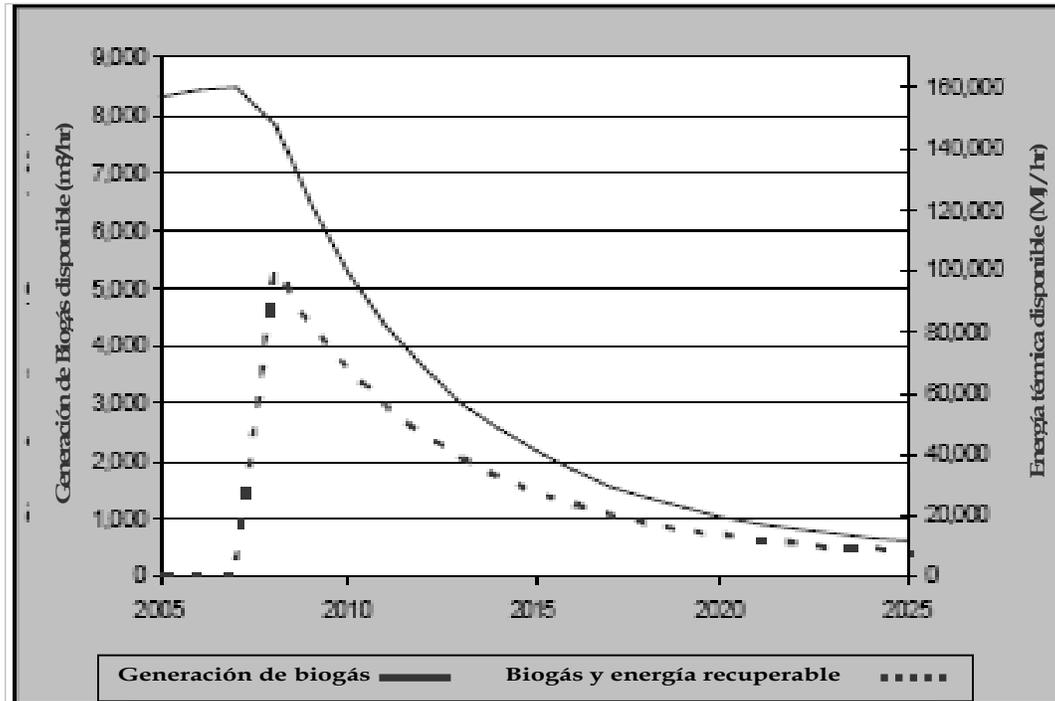
Gráfica 4. Generación y recuperación de biogás - Vasos D-



Gráfica 5. Curva de generación de Biogás total de Navarro (periodo 2002 al 31 de enero del 2008).



Grafica 6. Curvas de generación de biogás y la energía termina disponible en Navarro⁷⁷.



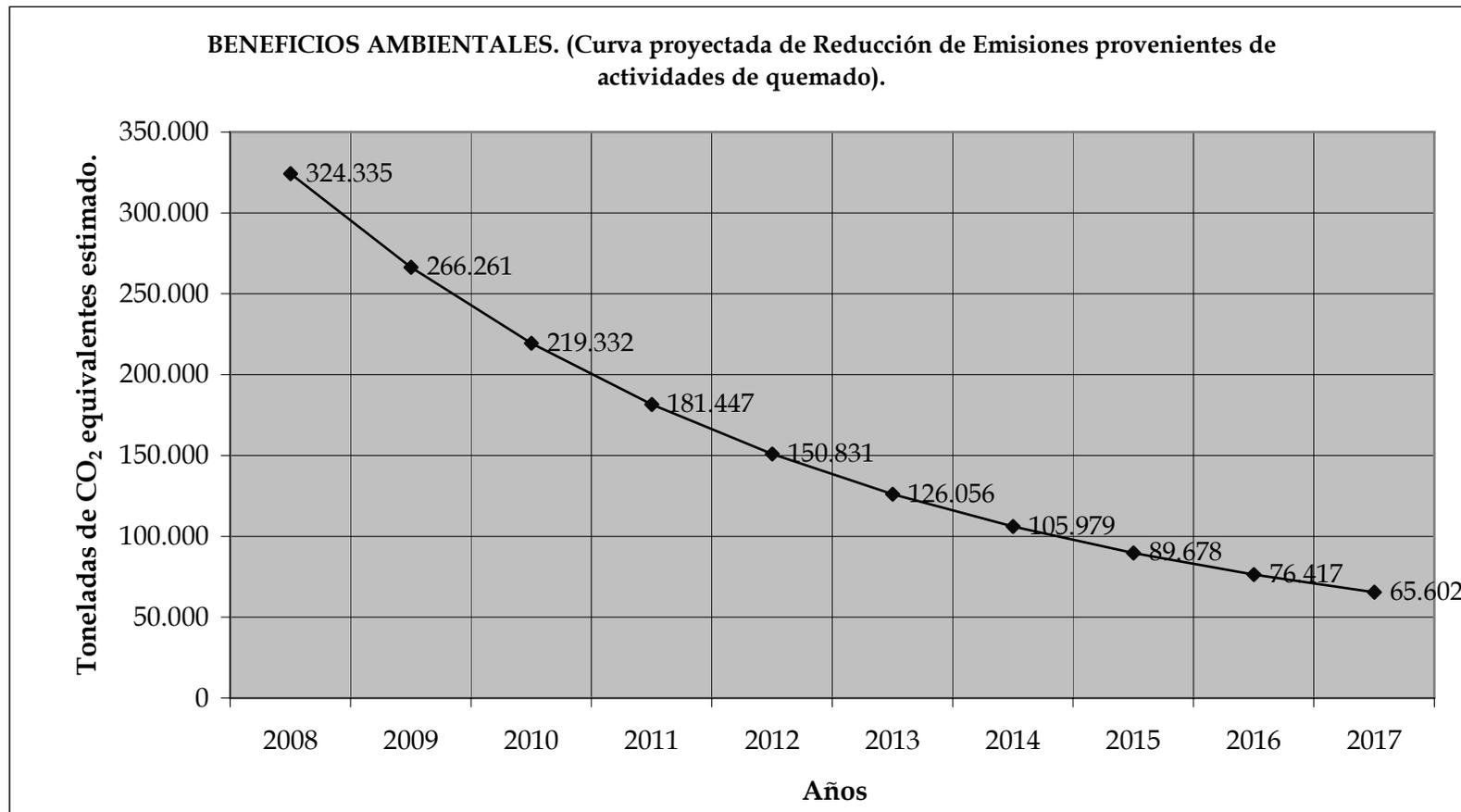
⁷⁷ EPA. U.S.2007 (Traducida por el autor del presente estudio).

Gráfica 7. Caracterización de los residuos sólidos⁷⁸ dispuestos en Navarro durante los años 2002 al 2006.



⁷⁸ Orgánicos (son los residuos recogidos de las galerías y plazas de mercado); Restos de podas (pasto, ramas, entre otros); Ordinarios (residuos domiciliarios o convencionales que no generen ningún tratamiento); Clínicos (residuos provenientes de clínicas o de la Ruta Hospitalaria); Especial (son los residuos que requieren de un tratamiento especial como el enterramiento, un ejemplo de estos son las cenizas, las trampas de grasa, desperdicios de pollos, etc; Rechazos industriales (son los residuos industriales, es el material recuperable, tales como el cartón, el plástico, el vidrio, entre otros); Sólidos urbanos (son residuos similares a los domiciliarios); Limpieza de vías (son los residuos resultantes del barrido de las vías públicas); Tierra y escombros.

Gráfica 8. Beneficios Ambientales (Reducción de emisiones).



13. ANEXOS FORMATOS.

ANEXO I.

Formato ha diligenciar por parte de la empresa EMSIRVA. E.S.P o su apoderada, para solicitar la aprobación del proyecto ante la autoridad ambiental competente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial):

ANEXO 2A⁷⁹

Formato de presentación de información para evaluar la contribución al desarrollo sostenible para proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por fuentes que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL.

I. Formato de identificación del proyecto.

Requisitos para la Aprobación de Proyectos de reducción de emisiones por fuentes que optan al MDL.

1. Principio. Cumplimiento de la normatividad sectorial vigente.

El proyecto debe cumplir con todas las normas sectoriales vigentes que le sean aplicables.

1.1 Requisito. El proyecto cumple con el marco normativo sectorial vigente aplicable. (Hace referencia al marco normativo no ambiental).

⁷⁹ De la resolución por la cual se adoptan los principios, requisitos y criterios y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL.

Verificadores

1.1.1 Certificado de registro de cámara y comercio

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

1.1.2 Declaración de cumplimiento de toda la normatividad sectorial

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

1.2 Requisito. El proyecto debe contar con las licencias, permisos, concesiones y autorizaciones ambientales previo al desarrollo de actividades que generen impacto y acorde con los objetivos y los contenidos estipulados en el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993 el Decreto 1180 de 2003 y demás normas que lo complementen, modifiquen o adicione.

Verificadores

1.2.1 Actos administrativos de la licencia, permisos, concesiones y autorizaciones ambientales

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

1.2.2 Permisos

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

1.3 Requisito. El proyecto debe demostrar legalmente que tiene derecho a usar, aprovechar o afectar el recurso natural, el residuo o el elemento natural que se emplee en las actividades del proyecto.

Verificador

1.3.1 Derecho al uso del recurso

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

1.4 Requisito. Cuando el proyecto desarrolle actividades dentro de territorios de grupos étnicos y/o comunidades tradicionales locales, tanto sus miembros, como particulares y las autoridades ambientales deben garantizar el respeto de sus derechos, advertir y desarrollar los procedimientos previstos en el artículo 3305 de la Constitución Política, la Ley 21 de 19916, la Ley 99 de 1993 artículo 767 y el Decreto 1320 de 19988, y demás normas que los complementen, modifiquen o adicionen.

Verificador

1.4.1 Consultas previas sobre el uso del territorio.

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

1.5 Requisito. El proyecto debe demostrar que ha permitido su consulta por parte de los interesados locales.

Verificador

1.5.1 Consultas previas sobre el proyecto.

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

2. Principio. Contribución, pertinencia y coherencia con la política y planificación estatal.

No se establecen requisitos bajo este principio.

3. Principio. Contribución al mejoramiento del bienestar social y económico a largo plazo de las comunidades locales y de la sociedad en general

No se establecen requisitos bajo este principio.

4. Principio. Implementación de sistemas de producción más limpia

No se establecen requisitos bajo este principio.

Criterios para la Aprobación de Proyectos de reducción de emisiones por fuentes que optan al MDL

1. Principio. Cumplimiento de la normatividad sectorial vigente

No se establecen criterios bajo este principio

2. Principio. Contribución, pertinencia y coherencia con la política y planificación estatal

El proyecto debe contribuir a la política estatal y ser coherente con los planes, programas y proyectos nacionales, regionales, locales y/o sectoriales.

2.1 Criterio. El proyecto hace parte o es coherente con los planes, programas o proyectos nacionales, regionales, locales o sectoriales.

Verificador

2.1.1 Pertinencia y contribución al logro de objetivos de políticas planes, programas o proyectos

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3. Principio. Contribución al mejoramiento del bienestar social y económico¹⁰ a largo plazo de las comunidades locales y de la sociedad en general¹¹

El proyecto debe contribuir al mejoramiento del bienestar social y económico a largo plazo de las comunidades locales.

3.1 Criterio. El proyecto contribuye al mejoramiento del bienestar social y económico a largo plazo de las comunidades locales.

Verificador

3.1.1 Obras de bienestar social y económico.

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3.2 Criterio. El proyecto da prioridad a la participación laboral de personas provenientes de las comunidades locales en las actividades del proyecto.

Verificadores

3.2.1 Política laboral.

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3.2.2 Programas de capacitación, entrenamiento, o educación.

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3.3 Criterio. El proyecto da apoyo y prioridad a la participación y a la consolidación de mercados locales relacionados con el proyecto.

Verificadores

3.3.1 Política de aprovisionamiento de bienes y servicios

(Explicar cómo la política de aprovisionamiento de bienes y servicios para el proyecto en su construcción y operación, da prioridad a los proveedores provenientes de las comunidades locales. (Máximo tres páginas)).

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:< /p>

3.3.2 Capacitación y apoyo para promover la creación de microempresas

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3.4 Criterio. El proyecto incide positivamente sobre la balanza comercial del país.

Verificador

3.4.1 Bienes o servicios de exportación

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3.5 Criterio. El proyecto cuenta con mecanismos para identificar los impactos sociales y definir las acciones para prevenir y mitigar los negativos y potenciar los positivos.

Verificadores

3.5.1 Impactos sociales

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

3.5.2 Quejas y/o reclamos de las comunidades

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

4. Principio. Implementación de sistemas de producción más limpia¹²

Empleo de sistemas productivos (equipamiento, tecnologías y procesos) más limpios que minimizan el uso de recursos y el impacto ambiental.

4.1 Criterio. El proyecto emplea equipos, tecnologías o procesos más limpios.

Verificadores

4.1.1 Eficiencia de Equipos, tecnologías, y/o procesos

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

4.1.2 Impactos de equipos, tecnologías, y/o procesos

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

4.2 Criterio. Cuando aplique, el proyecto debe prever la aplicación de un programa de transferencia de tecnología o conocimiento de los procesos.

Verificador

4.2.1 Transferencia y apropiación de tecnología

¿Aplica a este verificador? Si No

No, porque:

ANEXO II

Categorías de proyectos

Clasificación de los sectores y categorías de fuentes de acuerdo al Anexo A del Protocolo de Kyoto.

Sector	Categoría
Suministro de energía existentes	Energía renovable
	Sustitución de combustibles
	Reacondicionamiento de plantas de generación
	Plantas nuevas de generación más eficientes
Sector	Categoría
	Cogeneración
	Reducción de pérdidas de transmisión y distribución
	Otros
Demanda de energía existentes	Instalación de equipos y sistemas eficientes
	Aumento de la eficiencia de equipos y sistemas
	Otros
Transporte	Sustitución de combustibles
	Sistemas eficientes de transporte público
	Otros

Residuos

Recuperación y uso de gases de rellenos sanitarios

Recuperación y uso de gases de plantas de
tratamiento de aguas residuales

Otros

ANEXO III

Modelo de declaración de cumplimiento de toda la normatividad sectorial

Yo, _____ identificado con documento de identidad número _____ de _____ como representante legal o apoderado según poder adjunto, de la empresa _____ identificada con documento _____ número _____, para efectos de la solicitud de la carta de aprobación nacional de la contribución al desarrollo sostenible del proyecto _____ como requisito del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto, elevada al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, declaro que a la fecha la empresa ha cumplido con todos los requisitos legales que requiere el proyecto para ser construido y operado, de acuerdo con la normatividad vigente y el estado actual del proyecto, del lo(s) sector(es) _____ y _____ donde se inscribe el mismo.

De igual manera declaro que la información es exacta, completa y verídica tal como aparece escrita y que en caso de requerirse cualquier soporte que sustente esta declaración, lo entregaré a la autoridad que lo requiera en los plazos que se estipulen.

Dado en _____ a los ____ días del mes de _____ del año _____

14. BIBLIOGRAFÍA.

- Alternativas de utilización de biogás de rellenos sanitarios en Colombia. Serrano Camacho Ciro. Bogotá, Junio de 2006.
- Alternativas para el suministro de energía Documento No. ANC-375-23 - Rev.00 - 07/09/00.
- Cálculo de la producción de gases y lixiviados en el sitio de disposición final de las basuras de Cali (Navarro). Collazos Peñalosa Héctor. 2004.
- Ciclo de proyecto del mecanismo de desarrollo limpio oficina Colombiana para la mitigación del cambio climático. Ministerio del medio ambiente. Bogotá D.C., septiembre 2002.
- Considerations on the biogas. Methodology for the construction of a small plant of biogas. Universidad de Granma. Cuba.
- Comisión Nacional de Energía, Programa de Desarrollo de las Fuentes nacionales de energía. La Habana, Cuba, 1993.
- Comparative Analysis of Landfill Gas Utilization Technologies. Prepared for: Northeast Regional Biomass Program; CONEG Policy Research Center, Inc. Hall of the States, 400 North Capitol Street, N.W., Suite 382, Washington, D.C. 20001, (202) 624-8454.- Prepared by: SCS ENGINEERS. 10260 Roger Bacon Drive, Reston, Virginia 22090. (703) 471-6150, Revised: March 1997, File No. 0293066.

- CONPES 3242. Estrategias institucionales. 2003.
- Contraloría General de la República. El estado de los recursos naturales y del ambiente. Informe 1997. Bogotá, Junio de 1998.
- Documento ANC-0603-19-01. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás Versión 01. Unión temporal ICONTEC - AENE, Bogotá, marzo de 2003.
- El Verdadero Costo de la Energía. Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Borroto Nordelo, A. 1997. Cienfuegos, Cuba. 10 p.
- Estadísticas de manejo de RSU en Colombia, MAVDT, octubre de 2005.
- Establecimiento de un plan estructural, institucional y financiero, que permita el abastecimiento energético de las zonas no interconectadas con participación de las comunidades y el sector privado.- Alternativas para el suministro de energía. Documento No. ANC-375-23 - Rev.00 - 07/09/00.- MINHACIENDA - DNP - Minminas - UPME - CREG - PNUD.
- Estudios tecnológicos para el aprovechamiento de biogás. Boada Saez ingenieros. Bogota 2003.
- Factores asociados a la generación del biogás. Fundación Universitaria de Ibero América -FUNIBER. 2006.
- Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Documento ANC-0603-19-01. Guía para la

implementación de sistemas de producción de biogás, Versión 01. Unión temporal ICONTEC - AENE, Bogotá, marzo de 2003.

- Gestión Integral de Residuos sólidos, THOBANOGLIOUS, George. Theisen, Vigil Vi y II. McGraw Hill, 1998.
- Guía ambiental para rellenos sanitarios, MMA. Bogotá, D.C. 2002.
- Guía para la selección de tecnologías y manejo integral de residuos sólidos, MMA. Bogotá, D.C., 2002.
- Handbook for Preparing LFG to Energy Projects in Latin American and the Caribbean desarrollado por el Banco Mundial, September 2003.
- Implementation Guide For Landfill Gas Recovery Projects In The Northeast - Final Report.- Prepared for: CONEG Policy Research Center, Inc., Hall of the States. 400 North Capital Street, Suite 382.
- Informe de producción de residuos dispuestos en el relleno transitorio de navarro entre los años 2001- 2007. EMSIRVA.
- Landfill Gas Emissions Model - User's Manual - Version 2.01 - EPA Contracts 68-D1-0107 and 68-D3-0033. May 1998.
- Landfill Gs (LFG) to-Energy Initiative for Latin American Region World Bank-ESMAP. September 2003.

- Ley 164 del 27 de octubre de 1994. Por medio de la cual se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.
- Ley 24.295 de las Naciones unidas contra el Cambio Climático. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Colombia.
- Ley 629 del 2000. Aprobación del Protocolo de Kioto. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Colombia.
- Ley 778 del 2002. Artículos 18, 95 y 468. Estatuto tributario.
- LFG recovery and utilization. International Activity Identifying LFG Opportunities Abroad (Training in Brazil, New Mexico). Landfill Methane Outreach Program, EPA 2003.
- Manual “Landfill gas to Energy” del a EPA U.S. 1996.
- Manual del usuario del Modelo de generación de biogás. Versión 1.0. EPA U.S. 2003.
- Metano, gas rellenos sanitarios, EPA 2003: LFG (land fill gas) recovery and utilization. Landfill Methane Outreach Program.
- Metodología básica ACM0001 de la UNFCCC / CCNUCC (Secretaria de Cambio Climático) para actividades de proyectos de aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios.

- Modelo Mexicano de Biogás. Sedesol, IIE, Conae, Eteisa, USAID, EPA, noviembre de 2003: software y manual en CD.
- Modelo Scholl Canyon. Software e instrucciones en archivo canyonschollitaliano.doc, en CD. Ambiente diritto, Italia, 2002.
- Plan de Acción Triannual de la Corporación Autónoma Regional del valle del Cauca 2002-2012. Residuos sólidos del Departamento. Colombia.
- Plan Nacional para el Impulso de la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, MMA, Bogotá, D.C., 2001, mayo 2001, documento propuesta.
- Política para la Gestión Integral de Residuos; Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Agosto de 1997.
- Programa de monitoreo del vertedero antiguo y relleno transitorio de Navarro. EMSIRVA E.S.P. 2001.
- Propuesta Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas Provenientes de Rellenos Sanitarios; Guerrero Cevallos Ana Isabel; Universidad Nacional de Colombia; Facultad de Ingeniería, Unidad Académica Ambiental, Bogotá, 2001.
- Proyectos de Gestión Integral de Residuos Sólidos, guía práctica de presentación, DNP, Mindesarrollo, MMA. Bogotá, D.C., 2002.

- Primera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, MAVD, IDEAM, PNUD, Bogotá, diciembre 2001.
- Reporte síntesis de la IPPP. Pagina 189. 2001.
- Resolución 453 del 2004. Requisitos para proyectos de MDL. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Colombia.
- Resolución 454 del 2004. Aprobación del Comité técnico intersectorial de Mitigación Climático del Consejo Nacional Ambiental. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Colombia.
- Revisión del tamaño del aprovechamiento, reevaluación económica y financiera y acciones para el desarrollo del proyecto Relleno Sanitario de Doña Juana. Boada Saenz Ingenieros, Unidad Especial de Servicios Públicos -UESP. Bogotá, Colombia 2003.
- Saneamiento y Cierre de Botaderos a Cielo Abierto. Bogotá, MMA, Bogotá, D.C., 2002.
- Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. Hernández Carlos, La Habana. 132 p. 1990
- Seminario internacional sobre metodologías para la implementación de mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto, UPME, Medellín, Colombia, marzo de 2005. Olade, Proyecto Sinergy 2002.

- Solid waste landfill in middle and lower income countries. A technical guide to planning, design and operation. WORLD BANK. Technical paper No.426. 1999. US EPA. Clearinghouse of inventories and emission factors.
- Superintendencia de Servicios Públicos. Tabulado sobre inventario de la disposición final de residuos sólidos en Colombia, Bogotá, 2002.
- Taller Internacional para la Promoción de Proyectos MDL mediante el Aprovechamiento del Biogás en Rellenos Sanitarios, Bogotá, 4 noviembre de 2004. SEDESOL (México), Banco Mundial y MAVDT.
- Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods. EPA SW-846.I
- Utilización del biogás para la generación de electricidad. Fundación CIPAV. Alvaro Zapata.

13. CIBERGRAFÍA.

- ✓ http://www.admundo.com/contenidos/ambiental/cambio_climatico_ma_111207.htm
1.
- ✓ <http://www.biocarbonfund.org/>
- ✓ <http://www.caf.com>. Programa Latinoamericano del Carbono.
- ✓ <http://www.carboncredits.nl>.
- ✓ <http://www.cdm.unfccc.int/>
- ✓ <http://www.communitycarbonfund.org/>
- ✓ <http://www.emsirva.com/>
- ✓ <http://www.epa.gov/>
- ✓ <http://www.greenpeace.org>.
- ✓ <http://www.home.unsa.edu.ar/sma/digesto/inter/node18.htm>
- ✓ [http:// www.ifc.org/carbonfinance](http://www.ifc.org/carbonfinance).
- ✓ <http://www.monografías.com/>
- ✓ <http://www.prototypecarbonfund.org/>
- ✓ <http://www.triplea.com/>

- ✓ <http://www.unfccc.int/2860.php/>

- ✓ http://www.upme.gov.co/si3ea/documentacion/energias_alternativas/normalización/guia_para_la_implementación_de_sistemas_de_producción_de_biogás.pdf.

- ✓ [http://www.upme.gov.co/si3ea/documentacion/energias_alternativas/docs/CAPITU LO7ENERGIA DE LA BIOMASA%20.pdf](http://www.upme.gov.co/si3ea/documentacion/energias_alternativas/docs/CAPITU%20LO7ENERGIA%20DE%20LA%20BIOMASA.pdf)