**Evaluación de las emisiones en el vertedero de Sagua y propuesta de alternativas de tratamientos.**

**Evaluation of emissions in the Sagua landfill and proposal of treatment alternatives.**

**Autores: MSc: Teresa Cárdenas Ferrer, Ronaldo Santos, Dra C: Ana Margarita Contreras Moya, MSc: Nurys Triana Diaz, Ing**: **Richard Dominguez Naranjo**.

Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. Carretera a Camajuaní Km. 5 1/2. Santa Clara. Villa Clara, Cuba

**Teléfono:** 42 222553

**Email**: tcardenas@uclv.cu

***Resumen.***

En Sagua la Grande se generan 1290703,6 m3 /año de residuos sólidos urbanos, el 67 % son orgánicos de rápida descomposición, responsables de los diferentes procesos biológicos.

El objetivo del trabajo fue calcular las emisiones existentes en el vertedero que se generan por la descomposición de los residuos dispuestos, para lo cual se utilizó el programa (Landfill Emission Model versión 3.02), elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), demostrando que la generación existente es 5,526E+05 m3 /año total gas landfill, 2,763E + 05 m3 /año methane y 2,763E+05 m3 /año dióxido de carbono, el flujo de lixiviados es de 0.59 L/seg

Se valoran dos alternativas para minimizar los contaminantes presentes en el vertedero de Sagua la Grande; en la primera un sistema de Recogida Selectiva en una Planta de Transferencia con el objetivo de reciclar y reutilizar, la cual es sostenible económica, con Valor Actual Neto de $ 34 528 165.95, la Tasa Interna de Rendimiento es del 120% con un Período de Recuperación de Descuento de 1 año.

La segunda alternativa consiste en la construcción de una planta de biogás para tratar los residuos orgánicos de rápida descomposición. Los resultados obtenidos fueron de un Valor Actual Neto de$ 870,996, una Tasa Interna de Rendimiento del 55,5 % con un Período de Recuperación de Descuento de 2,1 años.

**Palabras Claves:** Residuos sólidos urbanos (RSU), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), lixiviados, escorrencia.

**Introducción.**

El rápido crecimiento demográfico, el aumento de la población, la utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento y el uso cada vez más generalizado, de envases sin retorno, fabricados con materiales no degradables, son algunas de las principales causas de la generación de residuos. La generación de residuos ha aumentado considerablemente en las últimas décadas y es previsible que continúe creciendo un 1,75% anual hasta el año 2020 **(Finnveden G. 2002)(Foster. T; 2005).**

La inadecuada gestión de los residuos supone, un derroche de energía y una fuente de problemas medioambientales. Los residuos sólidos urbanos dispuestos en vertederos a cielo abierto emiten malos olores, son fácilmente inflamables y además presentan un grave riesgo de contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas por la infiltración de los lixiviados que arrastran componentes orgánicos no estabilizados.

Los procesos de degradación de los residuos se extienden durante décadas convirtiéndose en grandes contaminantes del ecosistema. Impactos que acontecen por la degradación de la materia orgánica a lo largo del tiempo y la emisión de gases a la atmósfera, compuestos principalmente por metano y dióxido de carbono entre otros, los cuales contribuyen a la destrucción de la capa de ozono (por la presencia de hidrocarburos orgánicos volátiles clorados y fluorados).

Para estimar la producción de gases en un vertedero existen varios modelos, siendo los más reconocidos aquellos que utilizan la cinética química de primer orden, como los del IPCC, Scholl Canyon, y los de la EPA LandGEM v 3.02. Estos modelos permiten predecir la variación en la producción del gases de enterramiento en el vertedero a través del tiempo, además de estimar el inventario de las emisiones de los gases efecto invernadero (GEI) a escala regional y nacional. ([**Frey, Penman et al. 2006**](#_ENREF_5)**), (**[**Fundación Labein para IHOBE 2005**](#_ENREF_6)**).**

El volumen de lixiviado está fundamentalmente ligado a la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también la precipitación directa que cae en el área del vertedero sobre los residuos dispuestos pueden incrementar su formación y propiciar la infiltración en el terreno. Con la información local sobre los datos climatológicos, se puede precisar el volumen de lixiviado producido. Existen varios métodos para calcular el volumen de lixiviados producidos en el vertedero como son, el modelo balance hídrico, el modelo racional y el modelo HELP y el método suizo entre otros y aunque, ***Pelinson e Povinelli (2011), (Thomazoni*, André Luis; Valdez, Laura; Scheneider, Paulo Smith),** . Clasifican el método suizo como un modelo poco exacto. Muchas veces resulta que este método arroja las estimaciones más próximas a la realidad comparados con otros modelos según **(Gomes e Silva (2005),** el método suizo es un método empírico basados en los estudios de Hans-Hurgen Ehrig, el modelo asume que parte del agua precipitada sobre el terreno se infiltra transformándose en lixiviado, la cantidad transformada depende de la compactación de los residuos, si la compactación es densa menores son los flujos de lixiviados y en compactaciones ligeras el volumen de los lixiviados es mayor.

Las nuevas políticas de gestión de residuos sólidos desarrolladas en los países más industrializados, dan prioridad a cualquier tipo de aprovechamiento de los residuos, relegando el vertido como la última alternativa de gestión. Lo contrario ocurre en los países más pobres, donde la disposición final de los residuos se realiza en vertederos o rellenos sanitarios a cielo abierto siendo la práctica más común para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos generados por la población, atenta contra la calidad de vida de las personas y del medio que ellas habitan.

**Materiales y Métodos.**

**Método de Descomposición Cinética de Primer Orden.**

Para el estudio de las emisiones de gases de vertedero se utilizó el software de LanGem V 3.2 creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA, como herramienta utiliza una ecuación de descomposición cinética de primer orden que permite cuantificar las emisiones derivadas de la descomposición de los residuos biodegradables. El modelo permite estimar las tasas de emisión total de gases de relleno sanitario como el metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes atmosféricos asociados. Se estimó una media para el metano del 55 %, que es el valor característico, el modelo también requiere la incorporación de valores como el índice de generación de metano (k) el cual depende de las precipitaciones anuales del lugar y del potencial de metano (Lo).

**Tabla 1:** **Variables para estimar las emisiones derivadas de la descomposición de los residuos biodegradables.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Denominación** | **Fórmula** | **Siglas** | **Unidades** |
| Generación máxima de biogás  | $$QM=∑ni-1 2 K Lo Mi (e-k-1) $$ | QM | t/Mg año |

 Fuente: (6)

En la ecuación el modelo estima la generación de metano utilizando las cantidades de residuos dispuestos anualmente. A partir de la información recolectada sobre la disposición y composición de los residuos estos fueron introducidos en el programa. Tanto el índice de generación de metano (k), como la generación del potencial del metano (L0) pueden ser calculados e introducidos en el modelo si se conoce la composición de los residuos y las precipitaciones anuales registradas.

La región en que se asienta el vertedero se caracteriza por tener un clima cálido, con altos valores de radiación solar durante todo el año, con 7.33 horas luz como promedio. Las temperaturas generalmente son altas con valores medios anuales que van desde 20.85ºC a 33ºC, las precipitaciones varían según la época del año. La humedad relativa media es alta, con promedios cercanos al 80%. Los máximos diarios, generalmente superiores al 90%.

**Metodología de cálculo para el flujo de lixiviados generados en el vertedero.**

Para realizar el análisis de las cargas contaminantes presentes en el vertedero por la disposición de los residuos sólidos urbanos, se determinó el flujo de lixiviados generados en los meses de mayor precipitación, para el cálculo fue utilizado el método suizo y el método de balance hídrico.

**Tabla 2: Variables del proceso para el cálculo del lixiviado en el vertedero.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Denominación** | **Fórmula** | **Siglas** | **Unidades** |
| Caudal lixiviado método suizo | $$Q=1.PA.k/t $$ | Q | L/seg |
| **Caudal del lixiviado por balance hídrico.** |
| Infiltración | $I=P-E-ETr$ | I | mm |
| Evapotranspiración Potencial (Método Thornthwaite). | $$Etp=K.E$$ | Etp | mm |
| Coeficiente de corrección  | $K=\frac{N}{12}.\frac{d}{30}.d$ | K | h/día |
| Evapotranspiración potencial diaria | $$E=16 \left(\frac{10T}{I}\right).a$$ | E | mm/mes |
| Índice térmico mensual | $i= \left(T/5\right)$1.5  | i | mm |
| Calculo térmico anual | $Ianual=\sum\_{}^{}i$ | Ianual | mm |
| Balance hídrico  | $LL=I-Ret$ | LL | L/seg |

 *Fuente (12)*

* Para rellenos débilmente compactados se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.
* Para rellenos fuertemente compactado, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Se puede afirmar que la generación de lixiviado se presenta fundamentalmente durante los periodos de lluvias y se interrumpe durante los periodos secos. Por tal razón, el cálculo de la generación del lixiviado está en función de los meses donde ocurren las mayores precipitaciones y no de todo el año, en el trabajo se tomaron las precipitaciones ocurridas de Mayo-Octubre del 2015.

A partir de los resultados obtenidos en los análisis realizados tanto a la presencia de gases de enterramientos existentes en el vertedero, como al flujo de lixiviados generados durante la época de lluvia, se proceden a evaluar dos alternativas para el tratamiento de los residuos, la alternativa 1 analiza la construcción de una planta de transferencia para la clasificación y aprovechamiento de los residuos y la alternativa 2 la construcción de una planta de biogás para el tratamiento de la porción orgánica con fines energéticos.

**Alternativa 1. La Planta de transferencia propuesta para el municipio de Sagua la Grande.**

El manejo y disposición final de los Residuos Sólidos en el municipio de Sagua la Grande, es un problema grave para las empresas que intervienen en el proceso de recogida y disposición de los mismos, el cual se comporta de forma irregular en algunas zonas aledañas a la zona urbana del municipio, recibiendo el servicio solo el 92 % de la población, lo que ha generado la aparición de botaderos no autorizados, que no cumplen con las normas establecidas para la actividad, usados de forma indiscriminada por los pobladores, aumentando con ello el riesgo sanitario en dichas zonas.

La alternativa planteada en el trabajo sobre la construcción de una Planta de Transferencia que podría ser ubicada en áreas aledañas al vertedero municipal, a partir de un estudio de microlocalización, es una tecnología más limpia, para dar solución a la problemática que representa el manejo inadecuado de los residuos sólidos y con ello disminuir la carga contaminante en el vertedero. Para el diseño e implementación de esta alternativa también se tendrá en cuenta las Empresas que Comercializan los materiales reciclados.

**Alternativa 2. Análisis de la implementación de una planta de Biogás.**

A partir de la experiencia de la Planta de biogás ubicada en la calle 100 en la habana, se procede a realizar un estudio económico a la propuesta de construir una planta de biogás en el territorio de Sagua la Grande, para el tratamiento de la fracción orgánica generada en los residuos sólidos urbanos con fines energéticos.

**Resultados**

**Clasificación de los RSU de la ciudad de Sagua la Grande**

El 67 % de los residuos generados en Sagua la Grande son de origen orgánico lo que propicia la degradación de los procesos biológicos que ocurren en el vertedero y que dan origen a contaminantes ambientales como metano y dióxido de carbono y la escorrencia de lixiviados, la tabla 3 muestra la composición de los residuos sólidos urbanos generados en el municipio.

**Tabla 3: Composición y cantidad de los RSU generados en Sagua la Grande**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Componentes** | **Cantidad de residuos generados en (Kg/día)** | **Residuos generados por tipo. (%)** |
| Papel y Cartón |  1 708,30 | 7.30 |
| Aluminio |  751.11 | 4.54 |
| Hierro | 516,51 | 1.89 |
| Textil | 718,62 | 6.12 |
| Plástico | 2 480,0 | 6.16 |
| Vidrio y cerámicas |  1 763,47 | 10.65 |
| Nylon | 263.28 | 0,99 |
| Materia orgánica(rápida descomposición) | 4 657.56 | 22.1 |
| Materia orgánica (lenta descomposición) | 11 849.40 | 52.09 |
| **Total** | 22 226,185 | 100 |

***Fuente: Elaboración propia.***

**Tabla 4:** Emisiones de gases de enterramiento en el Vertedero del Municipio de Sagua la Grande 2015.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Gas / Pollutant** | **Gas / Pollutant** | **Gas / Pollutant** |
| Total landfill gas | 6,901E+02 | 5,526E+05 |
| Methane |   | 2,763E+05 |
| Carbon dioxide | 5,057E+02 | 2,763E+05 |
| NMOC |   | 2,210E+03 |
| 1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform) – HAP | 1,472E-03 | 2,652E-01 |
| 1,1,2,2-Tetrachloroethane - HAP/VOC | 4,244E-03 | 6,078E-01 |
| 1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride) - HAP/VOC | 5,459E-03 | 1,326E+00 |
| 1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride) - HAP/VOC | 4,456E-04 | 1,105E-01 |
| 1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride) - HAP/VOC | 9,325E-04 | 2,266E-01 |
| Propanol (isopropyl alcohol) – VOC | 4,674E-04 | 9,946E-02 |
| Acetone | 6,908E-02 | 2,763E+01 |
| Acrylonitrile - HAP/VOC | 9,344E-03 | 3,868E+00 |
| Benzene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC | 7,683E-03 | 3,481E+00 |
| Benzene - Co-disposal - HAP/VOC | 3,411E-03 | 1,050E+00 |
| Bromodichloromethane - VOC | 1,975E-02 | 6,078E+00 |
| Butane - VOC | 1,167E-02 | 1,713E+00 |
| Carbon disulfide - HAP/VOC | 6,679E-03 | 2,763E+00 |
| Carbon monoxide | 1,015E-03 | 3,205E-01 |
| Carbon tetrachloride - HAP/VOC | 9,013E-02 | 7,736E+01 |
| Carbonyl sulfide - HAP/VOC | 1,414E-05 | 2,210E-03 |
| Chlorobenzene - HAP/VOC | 6,765E-04 | 2,708E-01 |
| Chlorodifluoromethane | 6,468E-04 | 1,381E-01 |
| Chloroethane (ethyl chloride) - HAP/VOC | 2,584E-03 | 7,184E-01 |
| Chloroform - HAP/VOC | 1,928E-03 | 7,184E-01 |
| Chloromethane - VOC | 8,232E-05 | 1,658E-02 |
| Dichlorobenzene - (HAP for para isomer/VOC) | 1,393E-03 | 6,631E-01 |
| Dichlorofluoromethane - VOC | 6,150E-03 | 1,437E+00 |
| Dichloromethane (methylene chloride) – HAP | 2,733E-02 | 7,736E+00 |
| Dimethyl sulfide (methyl sulfide) - VOC | 1,114E-02 | 4,310E+00 |
| Ethane | 6,151E-01 | 4,918E+02 |
| Ethanol - VOC | 2,860E-02 | 1,492E+01 |
| Ethyl mercaptan (ethanethiol) – VOC | 3,284E-03 | 1,271E+00 |
| Ethylbenzene - HAP/VOC | 1,122E-02 | 2,542E+00 |
| Ethylene dibromide - HAP/VOC | 4,318E-06 | 5,526E-04 |
| Fluorotrichloromethane - VOC | 2,400E-03 | 4,200E-01 |
| Hexane - HAP/VOC | 1,307E-02 | 3,647E+00 |
| Hydrogen sulfide | 2,820E-02 | 1,989E+01 |
| Mercury (total) – HAP | 1,337E-06 | 1,602E-04 |
| Methyl ethyl ketone - HAP/VOC | 1,177E-02 | 3,923E+00 |
| Methyl isobutyl ketone - HAP/VOC | 4,374E-03 | 1,050E+00 |
| Methyl mercaptan - VOC | 2,764E-03 | 1,381E+00 |
| Pentane - VOC | 5,472E-03 | 1,824E+00 |
| Perchloroethylene (tetrachloroethylene) – HAP | 1,410E-02 | 2,045E+00 |
| Propane - VOC | 1,115E-02 | 6,078E+00 |
| t-1,2-Dichloroethene - VOC | 6,238E-03 | 1,547E+00 |
| Toluene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC | 8,258E-02 | 2,155E+01 |
| Toluene - Co-disposal - HAP/VOC | 3,600E-01 | 9,394E+01 |
| Trichloroethylene (trichloroethene) - HAP/VOC | 8,456E-03 | 1,547E+00 |
| Vinyl chloride - HAP/VOC | 1,049E-02 | 4,034E+00 |
| XylenesHAP/VOC | 2,928E-02 | 6,631E+00 |

Se estima la emisión de gases existentes en el vertedero utilizando el modelo descomposición cinética de primer orden, el programa fue procesado a partir de la información recolectada y los valores de (k) y de (Lo) utilizados, fueron los recomendados por el modelo ya que eran similares a los obtenidos según cálculos realizados, los resultados muestran los contaminantes presentes en el vertedero.

En el 2015 en los meses más lluviosos comprendidos de mayo-octubre, se toman los valores de las precipitaciones ocurridas.

***Tabla5: Régimen Pluvial de Sagua la Grande de Mayo-Octubre del 2015.***

|  |  |
| --- | --- |
| **Precipitación anual 2015 (mm)** | **Medición de las Precipitaciones** |
| **Mayo** | **Junio** | **Julio** | **Agosto** | **Septiembre** | **Octubre** |
| 211.6 | 160.3 | 135.7 | 104.2 | 255.5 | 122.1 |
| **Promedio 164.90** |

 ***Fuente: (13).***

El flujo de lixiviados existente en el vertedero, se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 6: Resultado de los cálculos estimados en el vertedero de Sagua la Grande.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Denominación** | **Siglas** | **Unidad** | **Resultados** |
| Caudal lixiviado | Q | L/seg | 0.59 |
| **Balance Hídrico** |
| Infiltración | I | Mm | 29.29 |
| Evapotranspiración Potencial (Método de Thornthwaite) | ETp | Mm | 35.54 |
| Coeficiente de corrección | K | h/día | 22.5 |
| Evapotranspiración Potencial diaria | E | mm/mes | 1.57 |
| Índice térmico mensual | i | Mm | 8.60 |
| Índice térmico anual | Ianual | Mm | 27.4 |
| Caudal lixiviado | LL | L/seg | 0,58 |

 *Fuente. Elaboración propia.*

Una vez calculado el caudal de lixiviado por ambos el métodos observamos que los valores obtenidos son similares.

A partir de estos resultados se proponen dos alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos, proponiendo soluciones viables a la problemática presente en el vertedero, la alternativa 1 analiza la construcción de una planta de transferencia para la clasificación, reciclaje y aprovechamiento de los residuos y la alternativa 2 la construcción de una planta de biogás para el tratamiento de la porción orgánica con fines energéticos.

**Análisis económico de la alternativas 1 y la alternativa 2*.***

**La Planta de trasferencia de los RSU y Presupuesto de Inversión de la Propuesta del SGRS para Sagua la Grande.**

La capacidad estimada para la planta de transferencia es de 40t/día (teniendo en cuenta las perspectivas de crecimiento en la generación de residuos sólidos en el municipio), con un consumo de potencia de 878,4 kW /d, (320616,0 kW /año). La fuerza de trabajo calculada es de 15 personas. El proceso tecnológico es reciclado, clasificado, transformación, utilización y comercialización del material inorgánico, que comienza con la segregación en el origen, lo que reducirá el tiempo de separación y clasificación de los residuos en la planta, logrando con ello una mayor eficiencia en el proceso.

Para calcular el presupuesto de la Inversión, se utilizó el Programa para la valoración Económica, programado en EXCEL, con relación al costo de los equipos. En la tabla 3 se presentan los precios de los equipos, cantidad, consumo de potencia de la instalación y se incluye el valor del equipamiento de la recogida selectiva, así como el de la planta de transferencia.

**Tabla 6: Costo de los equipos.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Equipos ($)** | **Cantidad** | **Precio** **($ / año)** | **Consumo Potencia ( Kw)** |
| Balanza Electrónica para camiones | 1 | 6000.00 | 2.6 |
| Tolva Recepción | 1 | 474.60 |  |
| Cinta Clasificación CP-100-80 | 1 | 5779.50 | 5.5 |
| Separador Magnético [Foucault](http://www.monografias.com/trabajos12/foucuno/foucuno.shtml) | 1 | 2500.50 | 3.6 |
| Triturador p/v/n Hergar | 1 | 6012.00 | 2.2 |
| Triturador p/v/n Hergar | 1 | 6012.00 | 2.2 |
| Carros Volcadores BF- 130-80 | 3 | 450.00 | - |
| Prensa Balas PCP-100 | 1 | 3000.00 | 7.5 |
| Prensa A-H-150 | 1 | 2900.00 | 7.5 |
| Desgarrador DP- 5 | 1 | 2005.0 | 2.2 |
| Contenedor (1m3) | 5 | 502.00 | - |
| Contenedor (0.36 m3) | 3 | 86.34 | - |
| Cinta Elevación RX-60 | 1 | 4225.00 | 5.5 |
| Carros montacargas | 1 | 7800.00 | - |
| Triturador martillo | 1 | 3010,67 | 2.2 |
| Equipos de la recogida selectiva | 25 | 88952,68 | - |
| Arreglos del Vertedero | - | 41734,94 | - |

***Fuente: Elaboración propia.***

**Costo de Equipos** = 56202.38 **$ / año**

La inversión fija (IF) de la instalación se calculó de la siguiente forma:

IF= CD + CI

**IF= 200642.45$ / año.**

El cálculo de la Iinversión Total (IT) es:

ITOTAL = IF + I TRAB

**ITOTAL = 239984.11$ / año**

**Tabla 7: Costo Total de Producción. (CTP)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Código** | **Indicadores** | **%** | **Costo ( $ /año)** |
| A | Materia Prima | - | - |
| B | Mano de Obra | - | 153300,00 |
| C | Supervisión | 25 % B | 4636.69 |
| D | Mantenimiento y Reparac. | 10 % IF | 20064.24 |
| E | Suministros | 20 % IF | 40128.49 |
| F | Depreciación | 10 % IF | 20064.24 |
| H | Seguros | 1% IF | 2006.42 |
| I | Impuestos | 4% IF | 8025.69 |
| Total | - | - | **94925.77$/año** |

***Fuente: Elaboración propia.***

En la se muestran los precios del material recuperado a partir de los RSU.

**Tabla 8: Precios del Producto.**

|  |  |
| --- | --- |
| Material | **Productos, Coproductos y Subproductos** |
| **Precio, $/Kg** | **Kg/d** | **Cantidad Anual,** **Kg/año** | **Valor del Producto Anual, $/año** |
| Papel y carton | 0.44 | 3010 | 866880.00 | 381427.2 |
| Plastico | 0.83 | 2580 | 743040 | 616723.2 |
| Vidrio | 1.21 | 4300 | 1238400 | 1498464 |
| Textil | 0.84 | 2580 | 743040 | 624153.6 |
| Materiales Ferrosos y No ferrosos | 0.10 | 10750 | 3096000 | 309600 |
| **Nombre del Material** | **Precio, $/kW** | **kW/d** | **Cantidad anual,** **kW/año** | **Valor del Producto Anual, $/a** |
| Electricidad | 0.06 | 620.8 | 178790.40 | 10727.42 |
| **Valor Total Annual del Producto =** | **3441095.42** |

**La ganancia es el valor de producción, menos el costo total de producción por tanto:**

 G = VP – CTP y el VP = precio \* producción, resultando:

**G = 3346169.65$ /año.**

 **El tiempo de recuperación de la inversión es calculado por la siguiente fórmula:**

 T R = IT / G

T R = 0,07

**La Factibilidad de la inversión es:**

VAN = (

**Tabla 9: Cálculo de los valores dinámicos de la factibilidad.**

|  |
| --- |
| **Calculo de los valores dinámicos de la factibilidad** |
| **Valor actual neto VAN** | **$34,528,165.95** |
| **Tasa Interna de Rend. TIR** |  **120 %**  |

Los resultados expresados en la tabla anterior, muestran una tasa interna de rendimiento elevado, con grandes ganancias, y una rápida recuperación de la inversión.

 ***Figura 2: Perfil del VAN. Cálculo del PRD.***

Según figura que aparece anteriormente el periodo de recuperación de descuento es menor a 1 año, resultando una recuperación rápida.

**Análisis de los costos de Inversión de la Planta de biogás.**

En el municipio de Sagua la Grande se generan diariamente 22226.185 Kg de residuos sólidos, de los cuales 15 m3 son residuos de rápida descomposición, por lo que se propone el análisis de una planta de biogás, la cual será diseñada para procesar 15 m3 de residuos orgánicos diariamente, y en el año 4500 m3, estos volúmenes de residuos tratados producirán 60kW/h, por lo que podrá entregar a la red nacional anualmente 432000 kW y como sub-producto se obtendrían 15 m3 diarios de fertilizante nitrogenado y 5 m3 de un lodo con un 70 % de humedad, ambos sub productos obtenidos en el proceso de digestión anaeróbica podrán emplearse en la agricultura el líquido podrá emplearse como fertiririego y el lodo en la obtención de compost por ser rico en fosforo y potasio con lo cual se podrían sustituir importaciones. Según referencia planta biogás calle 100 habana.

**Tabla 10: Costos de Equipamiento**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Posición**  | **cant** | **prec unit** | **valor $USD** |
| Tanque colector 65 m3 | 1 | 10.000,00 | 10.000,00 |
| Alimentador | 1 | 6.000,00 | 6.000,00 |
| Tanque para el suministro de agua 6 m3 | 1 | 1.500,00 | 1.500,00 |
| Tanque de hidrólisis 65 m3 | 1 | 24.000,00 | 24.000,00 |
| Triturador | 1 | 6.500,00 | 6.500,00 |
| Digestor anaeróbico 1000m3 | 1 | 79.000,00 | 79.000,00 |
| Tanque buffer 12 m3 | 1 | 2.500,00 | 2.500,00 |
| Unidad separadora | 1 | 19.500,00 | 19.500,00 |
| Tanque de almacenamiento de líquido | 1 | 12.000,00 | 12.000,00 |
| Deshumidificador | 1 | 3.500,00 | 3.500,00 |
| Torre desulfurizadora | 1 | 4.500,00 | 4.500,00 |
| Membrana para el almacenamiento de gases 270m3 | 1 | 58.000,00 | 58.000,00 |
| Grupo electrógeno | 1 | 28.000,00 | 28.000,00 |
| Antorcha de seguridad | 1 | 8.000,00 | 8.000,00 |
| Equipo de análisis |   | 2.500,00 | 2.500,00 |
| Bombas y válvulas |   | 8.500,00 | 8.500,00 |
| Sistema de tuberías |   | 16.000,00 | 16.000,00 |
| Partes eléctricas |   | 15.000,00 | 15.000,00 |
| Sistema de control |   | 18.000,00 | 18.000,00 |
| **Subtotal de equipos** |  |  | **323.000,00** |

***Fuente: Elaboración propia, Programa Exel***

**Tabla 11: Otros Costos**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Costos de Operación y Mtto | 16.150,00 | $ MT |
| producción diaria de biogás (doc LARE) | 1.000,00 | m3/día |
| potencia del grupo electrógeno | 60,00 | kW |
| consumo específico | 0,66 | m3/kWH |
| horas de producción de electricidad por día | 24,00 | h |
| producción de electricidad diaria | 1.152,00 | kWh |
| horas de producción de electricidad por año | 8.040,00 | h |
| factor de carga del grupo | 85,0% | % |

***Fuente: Elaboración propia, Programa Exel***

**Tabla 12: Producción e Ingresos**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **prod anual electricidad**  | **410.040,00** | kWh |
| producción de liq nitrogenado diario  | 15,00 | m3 |
| cantidad anual de liq nitrogenado | 2.340,00 | m3 |
| lodo estabilizado (70% humedad) por día | 5,00 | m3 |
| cantidad anual lodo | 780,00 | m3 |
| total de fertilizante estabilizado anual | 3.120,00 | m3 |
| total de fertilizante estabilizado anual | 2.184,00 |  |
| precio del fertilizante (Según Instituto de Suelos) | 80,00 | $/t |
| **ingresos anuales por ahorro de fertilizantes**  | **174.720,00** | $ CUC |
| tarifa de venta de electricidad | 0,10 | $/kWh |
| **ingresos por venta de electricidad**  | **41.004,00** | $ CUP |
| consumo de combustible  | 230,00 | g/kWh |
| Combustible desplazado anual | 94,31 | t |
| precio del combustible, FO | 466,00 | $/t |
| precio diesel (act UNE 1ro de marzo 2010) | 603,00 | USD/t |
| precio FO (act UNE 1ro de marzo 2010) | 458,00 | USD/t |
| precio crudo (act UNE 1ro de marzo 2010) | 337,00 | USD/t |
| precio utilizado, FO | 458,00 | USD/t |
| **ingresos anual por sust combustible** | **43.193,61** | $ USD |
| Factor de emisión, CO2 por generación FRE (OLADE) | 0,75 | tCO2/MWh |
| Reducción de emisiones CO2 | 307,53 | tCO2 |
| Precio del CER utilizado | 10,00 | € |
| Ingresos anuales por venta de CER  | 3.075,30 | € |
| Ingresos por venta de CER (1 ciclo 7 años) | 21.527,10 | € |

***Fuente: Elaboración propia, Programa Exel***

**Tabla 13:** **Calculo de los valores dinámicos de la factibilidad**

|  |
| --- |
| **Calculo de los valores dinámicos de la factibilidad** |
| **Valor actual neto VAN** | **$870.996**  |
| **Tasa Interna de Rend. TIR** | **55,5%** |
| **Periodo de recuperación** | **2,1 años** |

***Fuente: Elaboración propia, Programa Exel***

**Figura 3: Perfil del VAN. Cálculo del PRD**

**Conclusiones**

1. Para la implementación de la recogida selectiva de los Residuos Sólidos Urbanos se requiere de un trabajo sistemático con el objetivo de desarrollar una correcta conciencia ambiental en la población. Lo que permitirá realizar la selección de los residuos en el origen y su posterior transferencia y aprovechamiento en las diferentes plantas de tratamiento.
2. La planta de transferencia es una alternativa factible económicamente, tiene un Valor Actual Neto de $34,528,165.95, con una Tasa Interna de Rendimiento del 120% y se recupera en un año
3. El análisis de la planta de Biogás arroja ganancias económicas con un Valor Actual Neta de **$870.996** y unaTasa Interna de Rendimiento del 55,5% **,** su recuperaciónes de 2 años, la cual podría ser en menor tiempo ya que la electricidad producida puede ser vendida a la red nacional y el sub- producto obtenido también es comercializable para uso de la agricultura como fertirriego y compost, estos valores de venta no fueron incluidos en el análisis económico de la alternativa .

**Agradecimientos:** Al programa de cooperación Institucional entre universidades flamencas de Bélgica (VLIR) y la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. SGRSU (Sistema de Gestión Residuos Sólidos Urbanos).

**Referencias.**

1. Agency, E. P. LandGEM - Landfill Gas Emissions Model, Version 3.02 U.S.
2. Aguilar, P. J. V. (2005) "Desarrollo y Perspectivas de la Tecnología del Biogás en los Países Subdesarrollados."
3. Autores, C. d. (2011). "Programa para la evaluacion economica."..
4. Bovea M.D., P. J. C. (2006). "Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. ." Journal of Environmental Management 79: 115-132.
5. Botadero a Cielo Abierto. SCRIBD. 2013, pp.1 http://es.scribd.com/doc/51970419/Que-es-un-botadero-de-basura-a-cielo-abierto-o- basurero. [consultado 2014/04/13]
6. Pelinson, Natália de Souza; Povinelli, Jurandyr. Comparação de métodos empíricos e computacionais para quantificação de lixiviados em aterros sanitários. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,2011, Maceió, Brasil.
7. Finnveden G., H. P., Bare J., Basson L., Ciroth A., Mettier T., Seppälä J., Johansson J., Norris G and Volkwein S. (2002). "Normalisation, grouping and weighting in life cycle impact assessment. In: Life-cycle impact assessment: striving towards best practice. ." SETAC. Florida. USA.
8. Fundación Labein para IHOBE, S..Guias Técnicas para la Medición, Estimación y Cálculo de las Mediciones al aire. (2005) 43.
9. Frey, C., J. Penman. Directrices del IPCC de para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero INCERTIDUMBRES IPCC. 2006 Volumen 1: Orientación general y generación de informes: 71.
10. Gomes, Tiago Luis. Avaliação quali-quantitativa do percolado gerado no aterro
11. Sun, H.W., Yang, Q., Dong, G.R., Hou, H.X., Zhang, S.J., Yang, Y.Y., Peng, Y.Z. 2010. Achieving the nitrite pathway using FA inhibition and process control in UASB-SBR system removing nitrogen from landfill leachate. Science China Chemistry, 53 (5), 1210-1216.
12. Thomazoni, André Luis; Valdez, Laura; Scheneider, Paulo Smith. Incertezas na Estimativa da Geração de Lixiviado por Aterros pelo Método Suíço.
13. Tibanlombo, N.M. Diseño de una Planta de Tratamiento de lixiviados para el Botadero de Curgua del Cantón Guaranda Tesis inédita. Facultad de Ciencias. Ecuador. 2014. pp.73 -85.
14. *Anuario Estadístico de Cuba 2016.* [www.one.cu/aec2016.htm](http://www.one.cu/aec2016.htm)*.*