

Estudio de factibilidad para la implementación de una tecnología de aprovechamiento Energético de residuos orgánicos en la ciudad de Bucaramanga

Eduardo Alberto Pla Cala

Marlhin Amada López Miranda

Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia

Resumen

En la ciudad de Bucaramanga y área metropolitana se producen mil toneladas de residuos sólidos urbanos-RSU, de los cuales el 56% corresponde a material orgánico, siendo la causa de investigación cuyo objetivo principal fue la evaluación de implementación de la tecnología WTEF (Waste To Energy Flexibuster™) para la generación de energía eléctrica y subproductos en la ciudad. Para tal fin se desarrolló la caracterización del mercado potencial, seguido del estudio de la cadena, la identificación de la normatividad legal vigente para el desarrollo de la WTE; y la evaluación financiera de los aspectos requeridos para la puesta en marcha del modelo de negocio.

Entre los resultados obtenidos se determinó que la Central de Abastos y las plazas de mercado son las mayores fuentes de generación de residuos orgánicos de Bucaramanga, puntos en los cuales se desaprovecha el 97% de estos recursos. De igual manera, se encontró que la cadena de valor de la tecnología WTE es la generación de energía en forma térmica-eléctrica además de la producción de fertilizantes asociados a la tecnología y el hecho que la estructura administrativa no requiere mayor número de operarios dada la autonomía del equipo. En cuanto a la evaluación financiera de la tecnología de WTE Flexibuster™ arrojó que el modelo de negocio una inversión e \$700.000.000 COP pero con valores de VPN y una TIR por encima del 40% en una probabilidad del 90%. Finalmente, la conclusión del estudio demostró que los ingresos que se generan por la implementación de esta tecnología se presentan por tres conceptos que son ahorro en la disposición de residuos, venta de energía e ingresos por la venta de fertilizantes.

Palabras Claves: Waste To Energy, Fertilizantes, Residuos Orgánicos

Abstract

In the city of Bucaramanga and the metropolitan area, one thousand tons of urban solid waste-RSU are produced, of which 56% corresponds to organic material, being the cause of research whose main objective was the evaluation of the implementation of the WTEF technology (Waste To Energy Flexibuster™) for the generation of electrical energy and by-products in the city. For this purpose, the characterization of the potential market was developed, followed by the study of the chain, the identification of the current legal regulations for the development of the WTE; and the financial evaluation of the aspects required for the implementation of the business model.

Among the results obtained, it was determined that the Central de Abastos and the market places are the main sources of generation of organic waste from Bucaramanga, points in which 97% of these resources are wasted. Similarly, it was found that the value chain of WTE technology is the generation of energy in thermal-electric form in addition to the production of fertilizers associated with technology and the fact that the administrative structure does not require a greater number of workers given the team autonomy. Regarding the financial evaluation of the WTE Flexibuster™ technology, the business model showed an investment of COP \$ 700,000,000 but with VPN values and an IRR above 40% at a 90% probability. Finally, the conclusion of the study showed that the income generated by the implementation of this technology are presented by three concepts that are savings in the disposal of waste, sale of energy and income from the sale of fertilizers.

Key Words: Waste To Energy, Fertilizers, Organic Waste

1 Introducción

La tecnología WTE es conocida mundialmente como la recuperación de la energía a partir de los materiales de desecho, siendo una de las alternativas más prometedoras para superar el problema de la generación de residuos (Tan, Ho, & Hashim, 2015). No obstante, autores como Guerrero y Shephard (2017) destacan que el principal problema que se ha generado históricamente es precisamente el emparejamiento entre la materia prima y la tecnología, aspecto que se dificulta especialmente en los intentos de aprovechamiento de los residuos sólidos.

De esta manera, la tecnología WTE surge como una oportunidad verde para continuar el desarrollo técnico a partir de la integración de dos industrias en el que se combinan técnicas como incineración, pirólisis y gasificación. En primer lugar, el proceso de pirólisis comienza cuando los RSU se han sometido a clasificación y trituración, de manera que se dosifica en un reactor con poco o ninguna presencia de oxígeno. De ahí, la temperatura se incrementa entre 1200 a 2000 °F porque cuando los materiales a base de carbono están expuestos a altas temperaturas, permite que los enlaces químicos comiencen a romperse (Guerrero & Shephard, 2017).

Dependiendo de la temperatura a la que se somete la reacción, se genera carbón sólido, líquidos oleosos y gases como el hidrógeno. Tales mezclas son conocidas bajo el término *syngas* que no es más que la eliminación de sustancias nocivas como mercurio, ácido clorhídrico, óxidos de azufre y partículas. Posteriormente, el gas obtenido puede usarse en una turbina para que los sólidos y líquidos resultantes (ceniza, carbón, metales, bioaceites, etc.) puedan procesarse aún más para producir combustibles sólidos para plantas de energía. Es así como el proceso de pirólisis genera aproximadamente 571kW-h por tonelada de RSU como se observa en la tabla 3.

Tabla 1. Resumen de poder calorífico WTE

Tecnología WTE	Temperaturas de Operación (°F)	Producción de Energía (kWh/ton RSU)
<i>Incineración</i>	1,000 – 2,000	544
<i>Pirólisis</i>	1,200 – 2,200	571
<i>Gasificación convencional</i>	1,450 – 3000	685
<i>Gasificación por arco de plasma</i>	7,200 – 12,600	816

Fuente: (Guerrero & Shephard, 2017)

De forma similar al proceso de pirólisis, la gasificación convencional se inicia para retirar los materiales reciclables grandes, como refrigeradores y parachoques de automóviles, por lo tanto, los RSU se introducen en un gasificador, cuyo reactor se calienta entre 1450-3000°F. De hecho, Guerrero y Shephard (2017) señalan que el fenómeno de aire muerto que se genera en el proceso de gasificación genera a su vez una combustión lenta de gas de síntesis mezclado con subproductos como dióxido de Carbono CO₂ y vapor de agua. Lo anterior sirve para agregar al proceso y mejorar la producción de hidrógeno y gases de hidrocarburos.

No obstante, debido a que en el proceso de gasificación hay una pequeña cantidad de aire se genera una energía de 685kWh (tabla 1) por tonelada de RSU. De hecho, entre el uso de los subproductos generados en esta parte del proceso WTE los sólidos restantes son útiles como agregados de

concreto y asfalto; mientras que para la obtención de *syngas* se requiere un proceso de alta calidad de los RSU que aún no han sido procesados.

Finalmente, durante el proceso de gasificación por arco de plasma, la tecnología permite que la WTE sea más avanzada y eficiente, porque el proceso de generación de plasma mediante ionización del gas en el reactor es el que se usa finalmente para producir electricidad, a unas temperaturas de operación entre los 7,200 a 12,600 °F. Para esta etapa los RSU se trituran y luego se introducen en el reactor plasma con volúmenes subestequiométricos de oxígeno o aire. Durante esta etapa la producción de energía puede alcanzar las 816 kWh por tonelada de RSU (Guerrero & Shephard, 2017)

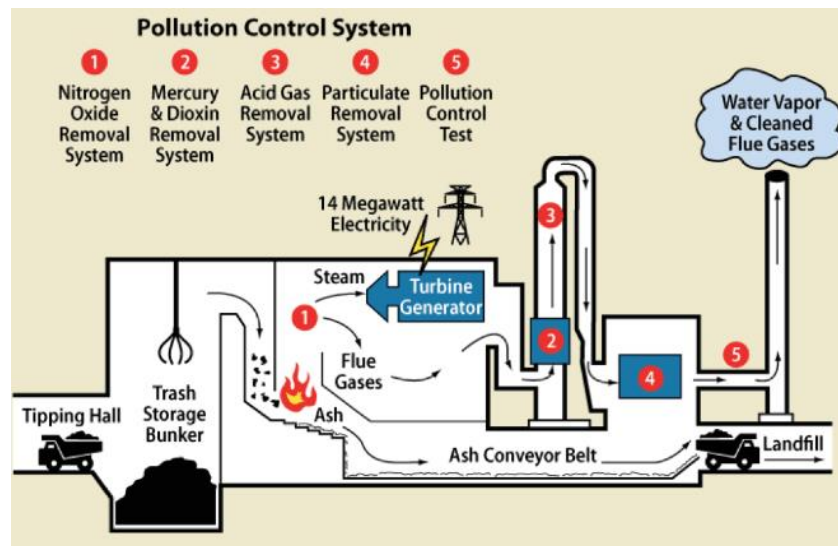


Figura 1. Diagrama general de planta de proceso WTE

Fuente: (Stringfellow, 2014)

Es así como en la figura 8 se presenta un diagrama general de la planta de proceso WTE en la que se consideran las tres tecnologías principales, la pirólisis en la que se produce óxido nitroso, en la siguiente etapa se remueve el mercurio, durante la tercera etapa se remueve los ácidos en forma de gas, en la cuarta etapa se remueven los sólidos particulados y finalmente durante la última etapa se efectúa el control de calidad sobre la polución del sistema.

Cabe resaltar que un factor muy importante a tener en cuenta en la adecuada selección de tecnología WTE es la humedad, según el autor Escalante & Orduz (2010) la mayoría de los residuos tienen humedades que superan el 60%p, muestran dificultades para la utilización de tecnologías termoquímicas. Sin embargo, los residuos con humedades del orden 78%p de agua favorecen la rapidez de descomposición de la parte orgánica constituyente de la biomasa (Escalante et al, 2010). Este factor, unido a una adecuada relación de C/N (aproximadamente 22) permitirá valorizar energéticamente los residuos mediante tecnologías de digestión anaerobia (como es el caso de los biodigestores).

Finalmente, entre los principales impactos ambientales que esta tecnología ofrece en la actualidad, está el hecho de poder reducir la dependencia de combustibles fósiles y al mismo tiempo las

emisiones de gases del efecto invernadero, y por supuesto la eliminación de los desechos humanos. Por tal razón, se trata de tecnologías que van ganando importancia en diferentes países de Europa, dada la generación de energía recuperada de los RSU como la principal fuente de calor al sistema (González & Zamorano, 2017).

2 Metodología

El tipo de investigación llevado a cabo en esta investigación es de tipo cuantitativo con enfoque proyectivo, siguiendo la jerarquía de clasificación de residuos de la tecnología WTE y la evaluación económica en la cual se considera el costo de capital, costo de operación y costo de transporte, teniendo en cuenta las ganancias adicionales de la venta de subproductos.

Las investigaciones de tipo proyectivas según Bitar y Chamas (2017) abordan el diseño de un modelo como solución a un problema, de manera que se estructura un proyecto factible para solventar la problemática en este caso de la acumulación de residuos orgánicos sólidos en el área metropolitana de Bucaramanga.



Figura 2. Jerarquía de gestión de residuos sólidos

Fuente: autor a partir de información obtenida de Tan, Ho, & Hashim (2015)

2.1 Diseño de Investigación

De acuerdo con los objetivos propuestos y la característica del problema, el diseño de investigación está enmarcado en un estudio de tipo emprendimiento, dentro del cual se proyecta un modelo no experimental. Es así, como a partir de un orden lógico para cumplir los objetivos formulados se estructuró una metodología compuesta a cuatro. La primera fase contempló el levantamiento de la información y recolección de datos, a partir de la caracterización de los registros de la literatura sobre los residuos orgánicos generados en Bucaramanga y área metropolitana; adicionalmente, se recopiló la documentación sobre la teoría vinculada a la tecnología WTE y las diferentes técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos que se implementan en el país.

Por otro lado, la primera fase también incluyó la identificación de los posibles proveedores de tecnología WTE a nivel mundial y la identificación de las leyes en materia ambiental legisladas en Colombia, que dan beneficio por la implementación de tecnologías sostenibles en materia energética.

Por su parte, la segunda fase se estructuró desde el análisis de los datos y diagnóstico de la disposición actual de los RSU en Bucaramanga y área metropolitana. Sobre esta segunda fase se desarrolló el estudio de mercado. Seguidamente en la tercera fase se desarrolló el estudio financiero teniendo en cuenta la definición de variables que determinen la viabilidad de implementación de la tecnología WTE.

Finalmente, la cuarta parte procesó el análisis y diseño de la propuesta con la evaluación a través de una relación costo-beneficio, además de la simulación del modelo de negocio.

3.2 Técnica de recolección de datos

La técnica de recolección de datos empleada en esta investigación fue una recopilación documental y bibliográfica enfocada primeramente a la teoría relacionada con los sistemas de generación de energía WTE y casos de éxito de implementaciones del sistema Flexibuster™ que sirvieron como base para la estimación de los cálculos de subproductos de acuerdo con la disponibilidad de biomasa para aplicación de la tecnología tipo Biodigestor.

Así mismo se realizó una investigación exhaustiva enfocada al marco regulatorio gubernamental en donde se describen las leyes que incentivan la inversión de proyectos enfocados a energías renovables en Colombia ya sea por beneficios en cuanto a impuestos, así como en la declaración de renta.

Finalmente, el análisis de datos concibió una recopilación documental y bibliográfica enfocada a partir de la teoría relacionada con la tecnología WTE.

3 Resultados

Los resultados comprenden la caracterización y disposición de residuos en la ciudad de Bucaramanga y área metropolitana, además de la cadena de valor para la tecnología Flexibuster, y finalmente incluye el análisis financiero y el análisis de viabilidad de la propuesta de implementación de la tecnología, a partir del aprovechamiento de los RSO obtenidos de Centro Abastos.

3.1 Caracterización y disposición de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO

Los nichos de mercado en los que se genera mayor volumen de RSO en Bucaramanga y área metropolitana son los productores agrícolas, centro de abatecimiento mayoristas, minoristas y

locales, además de restaurantes y hogres (figura 3). No obstante, el 19,85% de esos RSO son de origen de poscosecha y almacenamiento, distribución 20,6% y consumo 15,6% para el área metropolitana de Bucaramanga, teniendo en cuenta que es el que se tiene de más rápido acceso para realizar la promoción en la disposición de los residuos sólidos orgánicos.

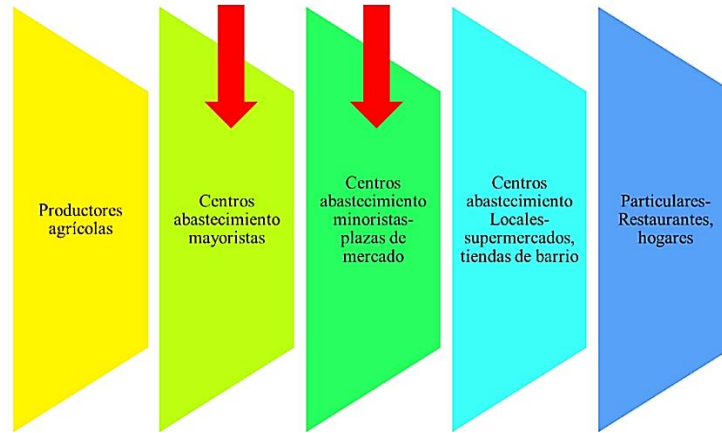


Figura 3. Mercado potencial para tecnología Flexibuster™

Fuente: Autores

En cada uno de estos nichos de mercado (figura 3) se logra encontrar un potencial debido a que en todas estas etapas se generan residuos orgánicos ya sea por incorrecta logística en el transporte, almacenamiento inadecuado o por deterioro en el tiempo. Los residuos generados por los productores agrícolas se deben principalmente al daño del producto, siendo imposible su venta, pero este tipo de productos comúnmente es utilizado para abonos y/o utilizado para compostaje.

El mercado a considerar para la puesta en marcha de la implementación de la tecnología WTEF (Waste To Energy) Flexibuster™ para la generación de energía eléctrica y subproductos en Bucaramanga se constituirá en un porcentaje de los residuos que se generan en cada uno de los centros de abastecimiento mayoristas y minoristas que cuentan con las siguientes estadísticas:

La Central de Abastos de Bucaramanga como el Centro de Abastecimiento Mayoristas que para el informe de gestión presentado en el año 2016, reportaron que semanalmente se aprovechan aproximadamente 22 toneladas de residuos orgánicos que al año son 1144 toneladas, siendo convertidos en compostaje, teniendo el convenio con la Empresa Pública de Aseo de Bucaramanga-EMAB pero que no es significativo pues considerando el informe del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), la Central de Abastos genera alrededor de 4.643,6 toneladas de residuos al año, y se están aprovechando para compostaje el 24% de los residuos, quedando aún el 76% como oportunidad de beneficio para aprovechamiento (Centro Abasto, 2016).

Tabla 2. Residuos generados y aprovechados en Bucaramanga

Fuente	Total Residuos año	Cantidad por aprovechar año	Cantidad por aprovechar al mes
<i>Centro Abastos</i>	4.643,6 Ton	3.529 Ton	294 Ton

<i>Plazas de mercado Bucaramanga</i>	4.274 Ton	4.146 Ton	345 Ton
--------------------------------------	-----------	-----------	---------

Fuente: (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

Las plazas de mercado como centros de abastecimiento minoristas que es un mercado creciente porque en el proceso de movimiento desde la central de abastos o productor principal, se generan daños del producto presentando las cifras de la tabla 3 en toneladas para Bucaramanga según el informe Plan de Gestión de Integral de Residuos Sólidos-PGIRS (Alcaldía de Bucaramanga, 2015).

Tabla 3. Residuos generados en las plazas de mercado de Bucaramanga

Nombre Plaza	Kg/semana	Kg/año	Ton/año
<i>La Concordia</i>	6.179	321.308	321
<i>Kennedy</i>	3.414	177.528	178
<i>La Rosita</i>	1.121	58.292	58
<i>Central</i>	19.309	1.004.068	1.004
<i>Asomercobu</i>	1.831	95.212	95
<i>Satélite</i>	8.472	440.544	441
<i>Asovesan</i>	1.519	78.988	79
<i>Asoven</i>	8.395	436.540	437
<i>Combercabu</i>	1.121	58.292	58
<i>Guarín</i>	13.102	681.304	681
<i>San Francisco</i>	17.720	921.440	921
Total	82.183	4.273.516	4.274

Fuente: (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

Para el caso de Floridablanca, el PGIRS (Alcaldía Municipal de Floridablanca, 2014) de este municipio indica que estiman aprovechar 51 toneladas al mes de este residuo representando el 3% del total de residuos generados, siendo una cantidad inferior de la real producida porque según estos informes el porcentaje de residuos orgánicos por comida que llegan al Carrasco, corresponde al 38% del total de los residuos.

En Piedecuesta (Alcaldía Municipal de Piedecuesta, 2015) se están aprovechando alrededor de 33 toneladas al mes de este residuo, siendo alarmante porque allí los residuos de comida en todo el Municipio representan el 55% del total, aprovechándose aproximadamente 33 toneladas de 1.037 que se producen al mes siendo escasamente un 3%.

Tabla 4. Residuos generados y aprovechados en Floridablanca y Piedecuesta

Fuente	Total Toneladas Residuos año	Toneladas residuos Plaza año	Toneladas por aprovechar año	Toneladas por aprovechar al mes
<i>Floridablanca</i>	20.400	446	432	36

<i>Piedecuesta</i>	22.558	493	478	39
--------------------	--------	-----	-----	----

Fuente: Alcaldía Floridablanca y Piedecuesta (2015)

3.2 Cadena de valor de la WTE

El proceso de disposición de residuos orgánicos tiene la cadena de valor de un residuo convencional en donde pasan por cinco etapas como se observa en la figura 4. En primer lugar, la *generación producto inicial* (figura 4) se trata del momento en el que el residuo orgánico no ha sido generado puesto que se requiere de la revisión por parte del comercializador para que compruebe que productos, de esta manera puede determinar cuáles no se ponen en venta. Tanto en las centrales de abastos como en las plazas de mercado, los vendedores revisan el producto inicial antes de ser entregados al cliente final e igualmente el usuario cuando se trata de un punto de autoservicio, revisa que el producto que comprará cumpla con las características para ser consumibles o según su gusto.

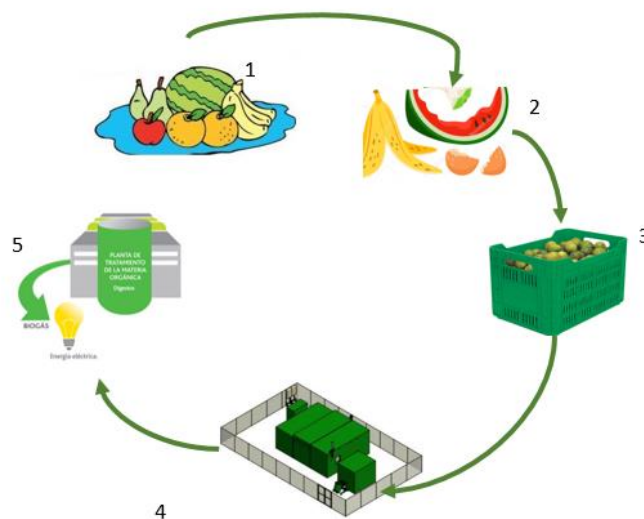


Figura 4. Cadena productiva residuos orgánicos

Fuente: Autores

La segunda etapa es la obtención del RSO a partir de la selección de los productos que no son consumibles para el usuario final, un total aproximado de 4.274,6 toneladas de residuos orgánicos al año en el área metropolitana de Bucaramanga, sin considerar al municipio de Girón, pues no se tienen estadísticas sobre los residuos generados. Por su parte, en la tercera etapa se disponen los RSO en contenedores para ser ingresados al área en donde se encuentra la tecnología WTE™ Flexibuster.

Seguidamente en la cuarta etapa se gestiona el almacenaje e ingreso a Flexibuster (figura 5=, zona en la cual se destina un espacio para el descargue de las canastas que contienen los residuos orgánicos para así tener suficientes residuos y alimentar la planta. Finalmente, en la quinta etapa se lleva a cabo la transformación de residuos orgánicos en energía eléctrica y subproductos. La

tecnología WTE™ Flexibuster maneja alrededor de 500 kg a 3000 kg por día produciendo entre este biogás que sirve para la generación de electricidad, calor y fertilizantes como acondicionador de suelos (figura 5).

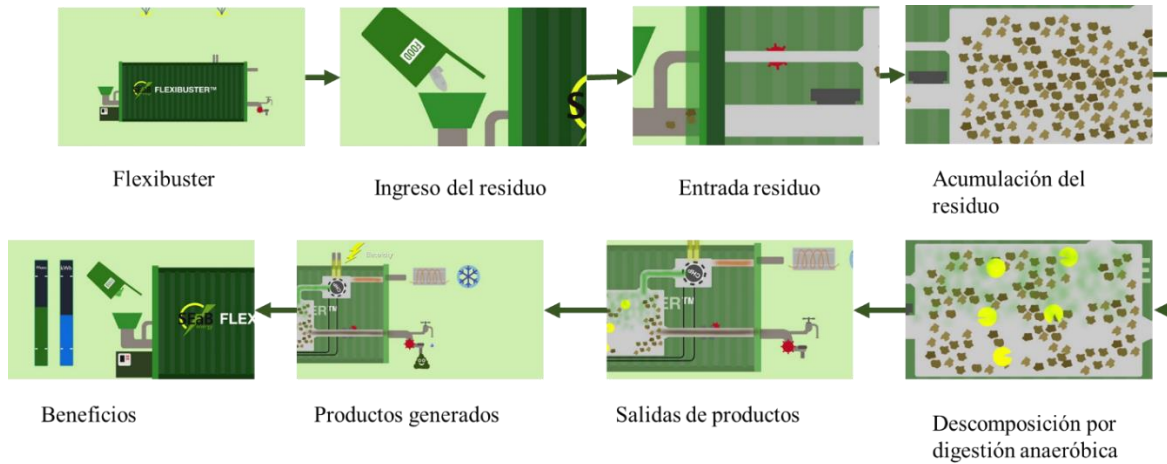


Figura 5. Proceso de operación de tecnología WTE Flexibuster™

Fuente: (Seab Energy, 2018)

Por esta razón, En la cadena de valor de implementación de la tecnología WTE Flexibuster se pueden identificar diversos factores endógenos y exógenos tanto positivos como negativos en el contexto de generación a partir de residuos orgánicos. Entre las ventajas está la certificación bajo norma internacional que posee la WTE avalado por diversos premios y reconocimientos a la tecnología flexibuster; de igual manera el proceso automatizado de la tecnología lo que potencia el aprovechamiento de la materia prima.

Finalmente, el gobierno colombiano, para incentivar esta inversión ha definido dentro del Estatuto Tributario, ley 1819 de 2016 en su artículo 155 ha definido un descuento de un 25% del total de impuesto de renta que se incrementa por la realización y/o adquisición en función de la protección ambiental. Esto se ve reflejado

3.3 Análisis Financiero

3.3.1 Relación Costo-Beneficio Producción de Energía Eléctrica Flexibuster

Inicialmente implicarán un costo elevado pues corresponden a la inversión requerida previamente al arranque del proyecto, por traer a colación un ejemplo, ya que la tecnología analizada Flexibuster es originaria de Reino Unido, esta tiene un valor comercial de £115,000 que en pesos colombianos representa aproximadamente \$466.662.201,16, así mismo, requiere de un área acondicionada para operar sin complicaciones.

Por lo tanto, las operaciones previas al arranque requiere de costos iniciales de inversión también llamados CAPEX, algunos de estos como único valor requerido durante toda la vida del proyecto y otros como en el caso de los equipos, personal y demás, con costos que repercuten durante la vida útil del proyecto llamados comúnmente OPEX. Algunos costos de operación OPEX, son

relacionados desde antes del inicio de operaciones pues hacen parte de recursos requeridos previamente.

Ahora, teniendo en cuenta que en el año se producen 4.643,6 toneladas de RSO en Bucaramanga y que la reducción mensual corresponde a 40 toneladas como se observó en la tabla 2, representa una disminución en la generación de residuos en un 15,51%. Considerando este porcentaje y el valor total de disposición de residuos para el año 2016 fue de \$243.590.000 se presenta un ahorro de \$25.179.430 al año (Tabla 5).

Tabla 5. Beneficio económico residuos aprovechados en Flexibuster™

<i>Concepto</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Residuos iniciales generados</i>	4.644	Toneladas/Año
<i>Residuos aprovechados Flexibuster</i>	480	Toneladas/Año
<i>Nuevos residuos sin aprovechar</i>	4.164	Toneladas/Año
<i>%Variación</i>	15,51%	
<i>Costo disposición residuos inicial</i>	\$ 243.590.000	COP/año
<i>Costo nuevo disposición</i>	\$ 218.410.430	COP/año
<i>Ahorro en disposición de residuos</i>	\$ 25.179.430	COP/año

Fuente: Autores

Por otro lado, la energía eléctrica es uno de los rubros que representa un porcentaje importante en los establecimientos comerciales como Centro Abastos y las plazas de mercado pues la tarifa que les representa es la comercial, siendo la más elevada de cobro. Actualmente, para la ESSA, el cobro del servicio de energía de acuerdo con la fórmula tarifaria es como se muestra a continuación:

Tabla 6. Fórmula tarifaria y costos de energía. Bucaramanga 2019

<i>Componentes de Costo (Cuv) 2019</i>	<i>%</i>		
<i>Generación (G)</i>	207,16	\$/KWh	39%
<i>Transmisión (T)</i>	34,53	\$/KWh	6%
<i>Distribución (D)</i>	187,79	\$/KWh	35%
<i>Restricción (R)</i>	11,15	\$/KWh	2%
<i>Pérdidas (PR)</i>	38,41	\$/KWh	7%
<i>Comercialización (C)</i>	55,72	\$/KWh	10%
<i>(G)+(T)+(D)+(R)+(PR)+(C)= Cuv</i>	534,76	\$/KWh	

Fuente: (ESSA, 2019)

Para el año 2016, Centro Abastos Bucaramanga presentó un aumento alrededor de 30% debido a la ampliación de los módulos arrendados que tuvo variación del 7,36% y diversas adecuaciones que están haciendo para el mejoramiento de la infraestructura. La energía eléctrica es otro insumo que produce el Flexibuster™, siendo un recurso importante considerando el costo elevado del servicio de energía que implica para este tipo de establecimientos, costo que puede disminuirse con los mismos residuos que estos generan a través de esta tecnología (Seab Energy, 2018).

El equipo Flexibuster™ autoconsume en su proceso de digestión de biomasa entre el 10 -15%, teniendo un 85 - 90% restante para distribuir o vender en las áreas colindantes con distancias de 10 metros, según la información que revela el desarrollador del producto (WRAP, 2013).

Este insumo tiene una oportunidad de comercialización de la energía generada en algún establecimiento comercial cercano, cuyo valor por kilovatio-h generado según las tarifas de la ESSA para el año 2019 representa alrededor de \$ 9.000.000 con variación en el precio de acuerdo con la biomasa de alimentación del biodigestor relacionado directamente con su poder calorífico, condiciones internas de eficiencia del sistema y precio de contrato o del mercado. La información reportada, se consolida en la Tabla 7.

Tabla 7. Beneficio económico energía eléctrica generada en Flexibuster™

Electricidad generada	815	kWh-día
Valor kWh	530	COP
Ahorro anual energía eléctrica	104.841.000	COP
Ahorro mensual energía eléctrica	8.736.000	COP

Fuente: Autores

3.3.2 Ingresos Operacionales Fertilizantes

En el ámbito de los fertilizantes, actualmente Colombia tiene dos fuentes de adquisición, por un lado los insumos químicos que en su variedad de acondicionadores de suelo tienen múltiples portafolios de acuerdo al tipo de necesidad a cubrir como lo son principalmente fuentes de Nitrógeno (para cultivos de crecimiento), Fósforo y Potasio entre otros.

La tecnología WTE Flexibuster™ permite obtener fertilizantes para uso en las mismas tierras en donde se realiza la siembra o para vender a los mismos campesinos que llevan los productos a Centro Abastos y/o las plazas de mercado. En este sentido, permite concluir que los residuos orgánicos no solo son fuentes generadoras de energía, también vuelven a ser parte de la cadena de valor de los alimentos, contribuyendo a la generación de nuevos productos.

Para la Asociación Ambiental Neia (2015) se producen 747 Toneladas por año siendo una proporción importante que representa una demanda aproximada de 2 toneladas por día que dada la constante entrada de insumos a diarios en estas plazas de distribución teniendo para Centro Abastos en el año 2016, un ingreso promedio de 1.393 toneladas de alimentos, con una entrada de vehículos de 3.572 diarios distribuidas en los 1.196 módulos en arrendamiento. Según las características de los alimentos, se requiere cierta proporción de fertilizantes líquidos que, para el caso de Colombia el Instituto Colombiano Agropecuario, reportó un consumo de 17.426.333 litros en el 2016, siendo este un mercado potencial que se abriría para el establecimiento sea Centro Abastos o las plazas de mercado de una empresa constituida con el sistema del biodigestor Flexibuster™.

Las fichas técnicas de los fertilizantes líquidos (ISUSA, 2016) muestran que, a una temperatura de 20° C, la densidad del fertilizante es de $1,30 \text{ g/cm}^3$ que a su vez equivale a $1,30 \text{ kg/l}$. En estos términos la producción en litros de los fertilizantes líquidos para las 2 toneladas diarias (2.000 kilogramos) sería de 1.538 litros.

No obstante, la producción de fertilizante líquido en flexibuster se describe en la tabla 8. Estos litros de fertilizante líquido pueden variar dependiendo de la humedad de los residuos orgánicos que allí se depositen pero aún con esta variación, tomando un 18% de producción se tiene un

mercado potencial porque como lo menciona Giraldo & Gómez (2014) con referencia en estudios del Banco Mundial, en el país se usaron 575,4 toneladas de fertilizantes por hectárea cultivable además que los precios de los fertilizantes representan un porcentaje significativo en los costos de producción de productos transitorios y permanente teniendo para el caso del arroz, algodón, papa y maíz blanco que los fertilizantes representan entre el 20 y el 30% de sus costos y para el café, el cacao, la palma y la caña panelera, van desde el 15 hasta el 30%.

Tabla 8. Ventas por fertilizante líquido diarias

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
<i>Total litros producidos al 50% de la capacidad de la planta</i>	638	litros/Día
<i>Total presentación Caneca 5 Galones -(19 litros)</i>	33	Diarios
<i>Fertilizante Caneca 5 Galones</i>	165	Semanal
<i>Fertilizante Caneca 5 Galones</i>	660	Mensual
<i>Fertilizante Caneca 5 Galones</i>	7920	Anual
Rango de Precios	Cantidad Min	Cantidad Max
<i>Valor unitario COP*</i>	\$ 100.000	\$120.000
<i>Valor Ingreso Anual COP</i>	\$ 792.000.000	\$ 950.400.000

* El precio oscila de acuerdo con la concentración del fertilizante resultante, este varía de acuerdo a la composición de la biomasa con q se alimenta el sistema.

** Se aplica un factor de eficiencia de un 50%.

Fuente: Autores con datos de (NEIA, 2015)

En este caso, para los ingresos operacionales se toma como valor promedio \$5.000 por litro, teniendo solo el 50% de lo que puede generar de fertilizantes el Flexibuster por las consideraciones mencionadas en la variación de las propiedades de los residuos y según los costos de los fertilizantes presentados en el informe del DANE (2019) se tienen los ingresos presentados en la Tabla 23.

3.3.3 Estados Financieros

La factibilidad para la implementación de una propuesta de idea de negocio inició demostrando que se tiene una demanda posible de suministrar o por medio de la demostración de una mejor eficiencia de los recursos que para este caso se presentan estos dos escenarios. Los ingresos que se generan por la implementación de esta tecnología se presentan por tres conceptos que son ahorro en la disposición de residuos, venta de energía e ingresos por la venta de fertilizantes.

El activo tiene un aumento entre el año de inicio y el año 1, de aproximadamente un 68% con respecto al primero, siendo esto debido a un valor de activos fijos en libros alto pues corresponden al costo de inversión inicial CAPEX en equipos y herramientas sin generar ingresos que sopesen las inversiones, porcentaje que disminuye pero que sigue siendo positivo el aumento comparando con el periodo anterior de evaluación, puesto que aumenta en un 50% hasta un 28%.

El valor en efectivo aumenta considerablemente, dándole liquidez a corto plazo, permitiéndole adquirir más equipos para un mayor aprovechamiento de los residuos sea por recursos propios o por bancos que con los resultados del indicador de razón corriente, se convierte en un atractivo, porque a partir del 2 año, se tiene el indicador por encima de 1 y sigue aumentando, siendo más fácil la adquisición de créditos.

Por otro lado, Para el cálculo del valor presente neto y la tasa interna de retorno es necesario conocer los flujos de dinero que se tendrán durante cierto periodo. El VAN es un indicador que forma parte del análisis beneficio costo, donde básicamente se verifica si los beneficios de una inversión compensan los costos, es decir el VAN es un indicador que muestra la riqueza adicional o creación de valor reflejado en rentabilidad que genera un proyecto luego de cubrir todos sus costos en un horizonte determinado de tiempo, desde el punto de vista matemático el VAN acumula los beneficios y costos en el periodo cero (Valencia, 2011).

El resultado de la simulación Montecarlo se presenta en la figura 6 se puede concluir que el factor más relevante en que afecta de forma directa el VPN es la cantidad de fertilizante producido, presentando una correlación directa sobre el VPN con un valor mínimo de 136 millones en el peor escenario y un valor máximo de 515 millones. En las siguientes gráfica y tabla se puede observar la correlación directa entre esta variable de entrada y su impacto en la variable VPN.

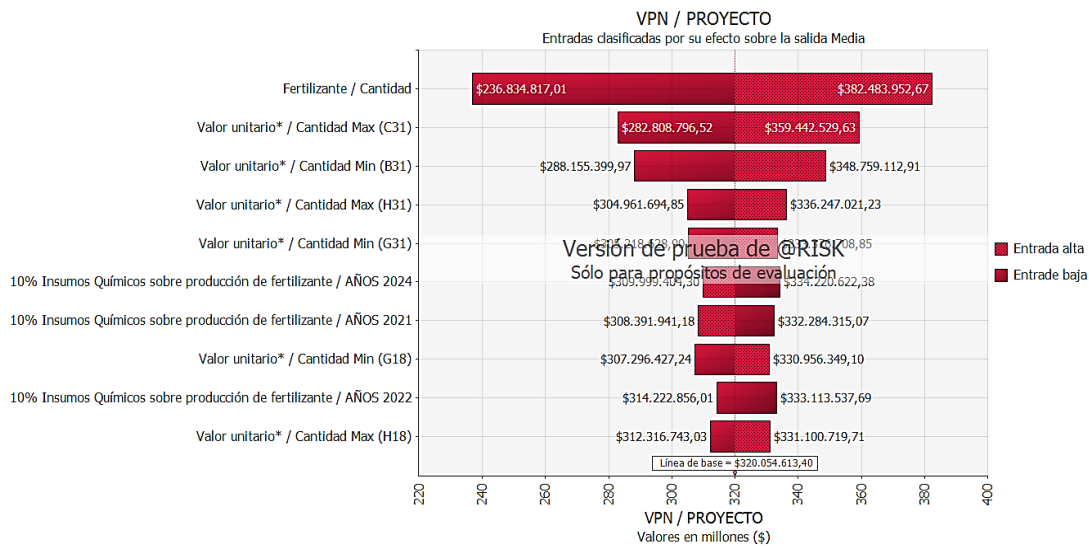


Figura 6. Simulación Montecarlo y el resultado del VPN

Fuente: Autores (simulación @Risk)

Finalmente, se tomaron 5 años como muestra para validar si la puesta en marcha de esta tecnología trae los beneficios económicos para que se convierta en una nueva unidad de negocio para Centro Abastos y las principales plazas de mercado del área metropolitana de Bucaramanga. Para los cálculos se tomó una tasa de descuento del 18% tomando como supuesto que los recursos que se destinarían serían propios en una porción y mediante financiación.

De esta manera, en la figura 7 puede observar que incluso con la varianza en las variables de entrada, la TIR en un 90% de probabilidad se mantendrá en un rango entre el 40 y el 55% a una tasa de descuento del 18%, representando valor favorable para inversión comparado con el sector y sustentado en los valores positivos obtenidos para las opciones del VPN.

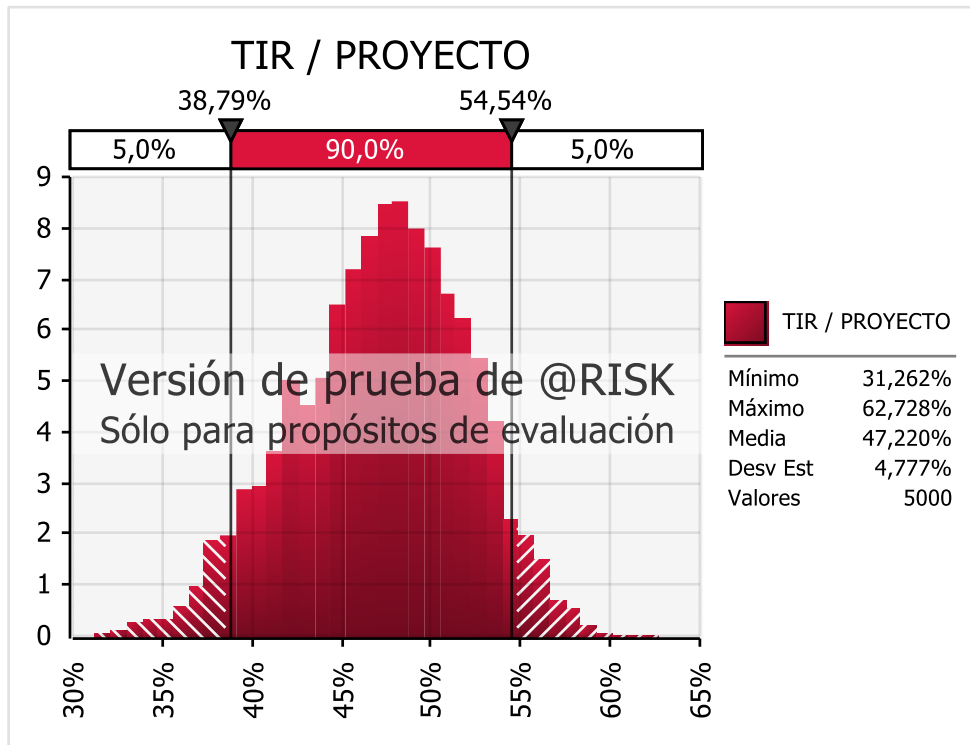


Figura 7. Diagrama porcentual. TIR

Fuente: Autores (simulación @Risk)

Finalmente, se entró que la tasa interna de retorno es del 49% para los cinco años de estudio. El valor de la TIR obtenido demuestra que el proyecto es factible de realizar puesto que, con la venta de energía y fertilizantes, se logra recuperar la inversión de esta instalación, incluso tomando precios de venta más asequibles, se puede recuperar la inversión, debido a que en Colombia son precisamente los fertilizantes, uno de los insumos más costosos dentro de la agricultura. En resumen, el proyecto resulta beneficioso por la venta de fertilizantes, esto se debe a que el precio actual en Colombia de los fertilizantes es muy elevado en comparación con otros países alcanzando precios mayoristas del 25%-35% al 45% para minoristas, haciendo que el costo se eleve (Suarez, 2013). Como se ha mencionado, con la implementación de esta tecnología se puede lograr tener fertilizantes con precios que sean de mejor alcance para los agricultores.

4 Conclusiones

La producción de subproductos como energía y fertilizantes a partir de residuos orgánicos permitió conocer aquellos sectores donde hay un mercado potencial para implementar tecnología WTE

Flexibuster™ y aunque se requiere una inversión de capital alrededor de \$700.000.000 teniendo la disponibilidad de los recursos, existe un modelo de negocio de economía circular aplicable en Bucaramanga y su área metropolitana representado con valores de VPN positivos incluso en los peores escenarios y valores TIR por encima del 40% en una probabilidad del 90%.

Otro factor no tenido en cuenta en el presente estudio pero que puede resultar como un desarrollo de ampliación de la planta WTE, es el aprovechamiento de la energía calórica ya sea para generación de energía mediante la implementación de una turbina de gas que cubra la inversión y genere mayor ingreso para el negocio o en algún subproceso donde se requiera energía en forma de calor. Sin embargo, este factor no hace parte del presente estudio.

El valor calculado en este estudio contempla una operatividad del equipo entre el 50% y el 80% representado una mayor posibilidad de rentabilidad aumentando la operatividad del sistema a valores cercanos a su límite de eficiencia máximo si se dispone de la materia prima que para este caso corresponde a la biomasa de alimentación de la tecnología WTE.

El desperdicio en los centros de abastecimiento de alimentos percederos es una fuente de recursos importante pues en la actualidad, estos no se alcanzan un porcentaje de aprovechamiento superior a 20%, abriendo paso a posibilidades de implementación y explotación de variedad de tecnologías WTE, las cuales se focalizan en el uso de la biomasa como el recurso de ingreso de este tipo de tecnologías.

La reducción en la disposición de residuos en las empresas de aseo es un indicador que genera una ventaja competitiva para los comercializadores de productos agrícolas y puede ser un rubro de negociación con el generador para aprovecharse como un ingreso que, aunque sea un valor casi despreciable en el desarrollo de la actividad de Flexibuster™ comparado con la venta de energía y fertilizantes, garantizaría un vínculo comercial con el generador y asegura la continuidad en abastecimiento de la materia prima para la operación.

La tecnología Flexibuster, permite que haya una reducción en el pago por el consumo de la energía eléctrica, sin generar costos adicionales por su uso, pues esta misma se autoalimenta con la que produce y adicional, el 90% restante permite para abastecer otras fuentes cercanas.

La puesta en marcha de tecnologías ambientales como Flexibuster™, es una estrategia de innovación que genera ventaja competitiva por el máximo aprovechamiento de los recursos que en la etapa del proceso para quien comercializa son un residuo donde su disposición y uso genera un gasto, pero que para la tecnología, hace parte fundamental del inicio de la etapa de productividad donde se le aporta valor comercial a este residuo generando ingresos mediante la producción y comercialización de los subproductos como energía y fertilizantes, siendo muy bien remunerados comercialmente en el mercado.

La confianza en los subproductos energía y fertilizantes basados en los reconocimientos internacionales de la tecnología y su compromiso por la protección del medio ambiente, permite reducción de generación de residuos en estos lugares de comercialización de productos agro para evitar ser llevados a rellenos sanitarios a punto de colapso como en el caso del Carrasco y/u otras fuentes naturales donde se pueda producir afectación a los ecosistemas por contaminación cuando

su proceso de disposición no se realiza correctamente. El total de capacidad de procesamiento de la planta Flexibuster está declarado por los fabricantes entre 1 y 3 toneladas por día.

La preocupación de los diferentes países debido a la contaminación ambiental que se está viviendo y por la disminución de los recursos naturales, ha hecho que se tomen medidas que incentiven a los diversos agentes que hacen parte de una nación a la protección del medio ambiente, para garantizar que se tengan óptimas condiciones para vivir en este entorno.

Las políticas del gobierno colombiano en materia ambiental están dando oportunidades de desarrollo a inversiones en tecnologías ambientales como una estrategia de negocio con beneficios económicos y aportando a la preservación del medio ambiente, todo esto con el beneficio del 25% en deducción por impuestos, cuando se realiza este tipo de inversión.

En el estudio se evidenció que la disponibilidad en exceso del recurso de insumo que para el caso de estudio corresponde a la biomasa de origen agrícola. La implementación de este tipo de tecnología WTE genera beneficios económicos factibles para su implementación analizados en la simulación Montecarlo en diversos escenarios obteniendo valores de TIR superiores a 40% por encima del costo de capital y valores de VPN positivos descontados a un costo de capital del 18%.

Los estudios alrededor del aprovechamiento de los residuos orgánicos apuntan como principal producción la energía eléctrica, sin embargo, en el desarrollo del proyecto se evidencia que el mayor aporte por ingresos se obtiene a partir de la comercialización de fertilizantes, el cual hace parte de los tres tipos de subproductos resultantes del proceso junto a la energía calórica y eléctrica.

Las tecnologías ambientales son poco atractivas en el mercado colombiano debido a que estas no son producidas en el país y el trámite para adoptarla en Colombia es más dispendioso que el beneficio mismo que pueda generar.

Las estrategias ambientales en el mundo no sólo deben ser incentivadas por medio de los beneficios económicos o estatutarios que estos puedan llegar a tener, también deben promocionarse en función de la protección del medio ambiente pues de este depende la existencia de todos los recursos y seres que hacen posible la existencia en el planeta.

Referencias

Alcaldía de Bucaramanga. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2016-2027*.

Alcaldía Municipal de Floridablanca. (2014). *Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Floridablanca*.

Alcaldía Municipal de Piedecuesta. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos*.

Bitar, S. M., & Chamas, F. (2017). *Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía en el sector industrial de Colombia*. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración –CESA.

- Centro Abasto. (2016). *Informe de gestión*. Bucaramanga.
- Escalante, H., & Orduz, J. (2010). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. *Ediciones UIS*, 131-135. Obtenido de <https://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058>
- ESSA. (2019). *Tarifas ESSA 2019-04*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de http://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Tarifas/TARIFAS_2019/Tarifa_ESSA_201904.pdf
- González, J., & Zamorano, J. (2017). *Aplicación de tecnologías WTE en el tratamiento de los residuos municipales en España: una herramienta imprescindible en la implementación e la economía circular*. Santander, España: VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/319748386_APLICACION_DE_TECNOLOGIAS_WtE_EN_EL_TRATAMIENTO_DE_LOS_RESIDUOS_MUNICIPALES_EN_ESPANA_UNA_HERRAMIENTA_IMPRESINDIBLE_EN_LA_IMPLEMENTACION_DE_LA_ECONOMIA_CIRCULAR
- Guerrero, R., & Shephard, L. (2017). Waste-to-energy. In *Lecture Notes in Energy*. Springer Verlag., 301-322. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-319-52311-8_12
- ISUSA. (2016). *Ficha técnica N30 Fertilizante líquido nitrogenado*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de <http://isusa.com.uy/files/2016-01/ficha-t-cnica-n-30.pdf>
- Marín, L. Y., & Meléndez, S. M. (2017). *Un modelo de optimización de rutas de transporte urbano en el área metropolitana de Bucaramanga con VRPTW mediante un algoritmo de optimización por enjambre de partículas evolutivo*. 2017: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2017/166039.pdf>
- NEIA. (2015). *Waste Management Equipment*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de http://neia.org/wp-content/uploads/2015/10/03-Candice-Way-CWAY_Mobile-AD_NEIA-2015_v2.pdf
- Pérez, J. P. (2014). *Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/39459/1/71782231.2014.pdf>
- Seab Energy. (2018). *FAQ'S*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de <https://seabenergy.com/products/mb400-faqs/>
- Stringfellow, T. (2014). *An Independent Engineering Evaluation of Waste-to-Energy Technologies*. Renewable Energy World.
- Suarez, A. (19 de Agosto de 2013). *Colombia, campeón mundial en precio de fertilizantes*. Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/colombia-campeon-mundial-precio-de-fertilizantes-articulo-440962>

- Tan, S. T., Ho, W. S., & Hashim, H. (2015). Energy, economic and environmental (3E) analysis of waste-to-energy (WTE) strategies for municipal solid waste (MSW) management in Malaysia. *S.T. Tan et al. / Energy Conversion and Management 102*, 111–120.
- Valencia, W. (2011). Indicador de rentabilidad de proyectos: el valor actual neto (van) o el valor económico agregado (eva). *Industrial Data-*, 14(1), 15-18.
- WRAP. (2013). *University of Southampton Science Park- Flexibuster Anaerobic Digester supplied by SEaB Energy*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/University%20of%20Southampton.pptx>