

Evaluación de alternativas para extender la vida útil del vertedero de la Zona 3 de ciudad de Guatemala, Guatemala

Gary Adán Reyes González

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

Evaluación de alternativas para extender la vida útil del vertedero de la Zona 3 de ciudad de Guatemala, Guatemala

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Gary Adán Reyes González

Zamorano, Honduras
Noviembre 2013

Evaluación de alternativas para extender la vida útil del vertedero de la Zona 3 de ciudad de Guatemala, Guatemala

Presentado por:

Gary Adán Reyes González

Aprobado:

Miguel Calderon, M.Sc., MBA
Asesor Principal

Ernesto Gallo MSc., MBA
Director
Departamento de Administración en
Agronegocios

Fredi Arias, Ph.D
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación de alternativas para extender la vida útil del vertedero de la zona 3 de ciudad de Guatemala, Guatemala

Gary Adán Reyes González

Resumen. El vertedero de la zona 3 de la ciudad de Guatemala tiene una vida útil de 5 años. Existen alternativas que aumentan ese tiempo de vida útil y que generan beneficios económicos para alguna parte de la sociedad. Por tal razón, es necesario estimar la inversión necesaria para ejecutar proyectos que reducen la emisión de desechos, así como evaluar dichas alternativas desde el punto de vista financiero para respaldar la ejecución de las mismas. Las alternativas evaluadas fueron una planta de compostaje a partir de desechos provenientes de los mercados y composteras domiciliarias. Estas alternativas se evaluaron por medio del método del valor actual neto (VAN). Con una inversión de US \$ 1038,760 se obtiene un VAN (10%) de US \$ 512,459 en la alternativa de compostaje de desechos de mercados, por lo que a la municipalidad le es más factible invertir en el proyecto que no hacerlo, debido a que si no invierte incurre en un gasto por compra de tierra y compost para mantener las áreas verdes, gastando un valor equivalente a un VAN (10%) de -US \$ 1277,101. Esta opción es mejor hasta tasas de descuento de 58.14%. A partir de esta tasa la mejor opción es no realizar la planta, siempre y cuando el método de evaluación sea el del VAN. La alternativa de compostaje de desechos de mercados en asocio con las composteras domiciliarias generan un ahorro de US \$ 1675,941 o VAN (10%) de US \$ 1268,280 en los 5 años del proyecto. Esto implica 2 meses más de vida útil para el vertedero de la zona 3.

Palabras clave: Compostaje, composteras, desechos, domiciliar, vertedero municipal.

Abstract. The landfill in Zone 3 of Guatemala City has a useful life of 5 years. There are alternatives that increase the lifetime and generate economic benefits for some part of society. For this reason, it is necessary to estimate the investment required to implement projects that reduce waste emissions and evaluate those alternatives from the financial point of view to support the implementation of it. The alternatives evaluated were a composting plant of waste from markets and domiciliary compost. These alternatives were evaluated by the method of the net present value (NPV). With an investment of U.S. \$ 1038,760 yields a NPV (10%) of U.S. \$ 512,459 in the alternative waste composting from markets, so the municipality is more likely to invest in the project rather than not investing; not investing incurs an expense for land purchase and compost to maintain green areas, spending an amount equivalent to a NPV (10%) -US \$ 1,277.101. This option is best to discount rates of 58.14 %. From this rate the best option is not to make the plant as long as the evaluation method is the NPV. The alternative market waste composting in partnership with domiciliary composting generate savings of U.S. \$ 1675,941 or NPV (10%) of U.S. \$ 1268,280 in the 5 -year project. This implies two months longer life for the landfill in Zone 3.

Key words. Composter, composting, household, municipal landfill, waste.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4. CONCLUSIONES	32
5. RECOMENDACIONES	33
6. LITERATURA CITADA.....	34
7. ANEXOS	36

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Precios de compost en presentaciones de 45 kilogramos.	13
2. Costo de inversión de las instalaciones de la planta de compostaje.	17
3. Inversión en maquinaria (US \$) para la planta de compostaje.	18
4. Inversión en equipo de oficina (US \$) para la planta de compostaje.	18
5. Inversión en instrumentos de trabajo (US \$) para la planta de compostaje.	18
6. Inversión en herramientas de trabajo (US \$) para la planta de compostaje.	19
7. Resumen de inversión inicial requerida para el proyecto.	19
8. Gastos anuales en salarios (US \$) en la planta de compostaje.	20
9. Costos variables anuales en la planta de compostaje.	20
10. Gastos anuales (US \$) en materiales de la planta de compostaje.	20
11. Resumen de costos anuales de producción de la planta de compostaje (US \$)	21
12. Variables a considerar para elaborar el flujo de efectivo.	21
13. Flujo de efectivo proyectado (US \$) para la planta de compostaje.	22
14. Flujo de efectivo (US \$) para la compra de mezcla tierra y compost.	23
15. Resumen de indicadores de los proyectos evaluados.	23
16. Matriz de sensibilidad GATOF para la planta de compostaje domiciliario	25
17. Proyección de las ventas y demanda insatisfecha de las zonas 12, 14 y 15 de la ciudad de Guatemala del proyecto de composteras domiciliarias.	29
18. Flujo de efectivo por hogar de la ciudad de Guatemala durante 5 años de vida útil de compostera.	30
19. Impacto de las composteras vendidas sobre el vertedero de la zona 3.	30
20. Impacto en el ahorro de las alternativas de reducción de desechos orgánicos.	31

Figuras	Página
1. Modelo de innovación de Rogers.	5
2. Modelo de flujo de efectivo.	10
3. Comparación del VAN del proyecto de compost contra la compra de la mezcla de tierra y compost a diferentes tasas de descuento	24
4. Composición de los desechos domiciliarios de la ciudad capital	28

Anexos	Página
1. Esquema de definición de zonas urbanas de la ciudad capital.	36
2. Consumo doméstico de materiales	36
3. Comparación del VAN del proyecto de compost contra la compra de la mezcla de tierra y compost a diferentes tasas de descuento	37
4. Inflación histórica (2000-2012) de Guatemala.	37
5. Composición de los desechos domiciliarios de la ciudad capital	37
6. Densidad poblacional por zonas en la ciudad de Guatemala para el año 2009.	38

1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes. Los mercados municipales de la ciudad de Guatemala cuentan con un plan de reciclaje de desechos. Este plan consiste en separar los desechos desde su origen y venderlos a empresas recicladoras o recolectoras de material reciclable. La alcaldía municipal y la administración de cada mercado se encarga de llevar el control de los ingresos provenientes de la actividad de reciclaje y destinar los fondos al beneficio de los mercados para mejorar el área laboral de los comerciantes de cada sitio de recolecta. Este programa ha tenido una gran aceptación en los mercados capitalino (Saravia 2013)¹.

En el año 2008 la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó una prueba de elaboración de compost a partir de los desechos generados por los mercados de la Ciudad de Guatemala. El estudio consistió en obtener muestras de desechos de los mercados del municipio de Guatemala y compostarlos con el fin de obtener información acerca del potencial, característica y rendimiento del compost. (Hernández Solares 2008).

La ciudad capital cuenta con un programa llamado Reciclatón, que promueve el reciclaje de desechos. Este programa consiste en hacer campañas en donde las personas puedan llevar sus desechos y el pago se hace en forma de insumos que se utilizan para el bienestar de los barrios, colonias o zonas a los cuales dichas personas pertenecen. Esto se realiza en las zonas que se han demostrado tener más aceptación este tipo de proyectos. Reciclatón es un programa que se hace en colonias, empresas y organizaciones (Saravia 2013).

La ciudad de Guatemala está dividida en 22 zonas, basado en un sistema espiral que se desenvuelve en dirección opuesta al reloj. Este sistema fue creado por el ingeniero Raúl García Aguilar Batres donde se establece división entre las principales vías de acceso y la divisoria continental de las aguas que pasa por el municipio. El objetivo de dividir la capital en zonas en forma espiral fue para planificar áreas de crecimiento futuro en donde las direcciones fueran coherentes, ordenadas y sencillas de interpretar (Muniguate 2013).

Actualmente el depósito oficial de los desechos generados en la ciudad capital es el vertedero de la zona 3. En el año 2011 una empresa Canadiense quiso cambiar la ubicación del vertedero, debido a la contaminación incontrolable que es producida en el área urbana. La idea era reciclar en otro sitio, y utilizar el metano de los desechos para producir energía para alimentar el alumbrado público (Prensa libre 2013).

¹ Saravia, D. 2013. Situación actual del reciclaje en la ciudad de Guatemala. Municipalidad de Guatemala, Guatemala. Comunicación telefónica.

Definición del problema. En la ciudad de Guatemala, al igual que en todo el planeta, el tema ambiental es de suma importancia. Es por eso que la municipalidad ha creado algunos programas que reduzcan y mitiguen el impacto ambiental de los desechos sólidos que generan los habitantes en la ciudad capital. Pero aun así no hay estudios que demuestren de forma puntual los beneficios económicos de los proyectos ambientales.

El vertedero de la zona 3, con el manejo actual y con la cantidad de desechos que se vierten diariamente tiene un tiempo de vida restante de 5 años (IARNA-URL 2012). Por tal razón, para aumentar el tiempo de vida útil de dicho vertedero, es necesario realizar proyectos que reduzcan la deposición de desechos en el vertedero y junto con ello, la contaminación ambiental. Aun así, los tomadores de decisiones demandan documentos con información que estimen de forma cuantitativa el beneficio percibido para el municipio por la ejecución de proyectos ambientales.

El vertedero de la zona 3 tiene un tamaño de 28.4 Ha y recibe a diario en sus 8 patios de manejo 1,500 toneladas de desechos, de las cuales 1,000 toneladas se generan en el municipio de Guatemala y el resto de Mixco, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Chinautla y Fraijanes (URBANÍSTICA 2009). Los residuos provienen de 617,000 usuarios (propietarios de residencias). Además 316,000 familias contratan el servicio de recolección de basura (Prensa libre 2013).

Justificación del estudio. El presente estudio proporciona información cuantitativa que ayudará a tomar decisiones para elaborar proyectos que reducen la cantidad de desechos que llegan al vertedero de la zona 3. Se proporcionará los fundamentos teóricos-técnicos que evalúen y estimen que las actividades que reducen las deposiciones al vertedero son en términos económicos, beneficiosos para alguna parte de la sociedad.

Dentro de los materiales que son enviados al relleno sanitario de la zona 3 están los orgánicos, que son alrededor de la mitad, 735 toneladas aproximadamente (INE 2009). Parte de la investigación es buscar alternativas para realizar compost con los materiales orgánicos y que puedan ser utilizados en los jardines municipales (los orgánicos que provienen de mercados) y en los jardines privados (que cada persona haga compost para sus propios jardines). El fin de esto es reducir la cantidad de desechos que llegan al basurero municipal promoviendo la creación de pequeños empresarios por medio de concientización y la generación de beneficios económicos que resulta la actividad de compostaje.

La Misión Técnica de Taiwán está interesada en invertir en un proyecto de compostaje municipal (Saravia 2013), por lo que este documento generará información útil para la obtención de dichos fondos. Alrededor del 10% de los materiales que llegan al basurero de la zona 3 que son potencialmente reciclables no se reciclan debido a la contaminación por residuos de alimentos principalmente ya no se pueden reciclar (INE 2009).

Límites del estudio. El estudio se realizó con la información de la ciudad de Guatemala, por lo que aplica sólo para dicha ciudad.

Revisión de literatura

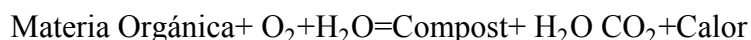
a. Compost. Producto final del proceso de compostaje, que está formado principalmente por materia orgánica estabilizada en donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras (Córdoba Molina 2006).

b. Compostera. Sitio o artefacto donde se disponen los residuos orgánicos para realizar el proceso de compostaje. Puede ser directamente sobre el suelo (IARNA URL 2012).

c. Compostaje: Proceso de degradación bioquímica de la materia orgánica (fermentable), mejorando las propiedades físicas y químicas del material original, hasta ser convertido en un compuesto bioquímicamente estable con mayor fertilidad potencial y humus estable (Trejo Vázquez 1994). El compostaje resume en 4 fases (Vanegas 1998):

- **Fase 1 (Mesofílica).** Durante esta fase la temperatura alcanza alrededor de 35°C y un pH ácido (4.5 a 5.5). Se produce la degradación de los carbohidratos y sacáridos de bajo peso molecular por medio de los microorganismos existentes. Conforme aumenta la actividad de los microorganismos, se aumenta la temperatura hasta llegar a los 65°C, momento en el que inicia la segunda fase.
- **Fase 2 (Termofílica).** En esta fase se degradan las grasas, proteínas y carbohidratos superiores mediante la proliferación de microorganismos termófilos. El pH empieza a elevarse debido la liberación de amonio desde las proteínas. La temperatura se eleva y genera el proceso de pasteurización del material, lo cual genera que haya esterilidad o ausencia de sustancias patógenas.
- **Fase 3 (Enfriamiento).** Se produce la segunda parte de la degradación de la celulosa por parte de los hongos mesófilos y de la mayor parte del material orgánico a residuo dispuesto. Disminuye la actividad de los microorganismos por lo que la temperatura se reduce rápidamente.
- **Fase 4 (Madurez).** Esta etapa requiere varios meses hasta que genera un compuesto estable de humus y ácidos húmicos. Durante esta etapa existe una gran competencia por alimento entre los organismos. Se forman antibióticos y antagonistas que hacen que el material

El proceso de compostaje es complejo y dinámico. Se produce por medio de un proceso bioquímico termofílico aerobio. Este proceso se puede resumir en la siguiente ecuación (Córdoba Molina 2006):



El compostaje se inició en principio como un elemento para mejorar los suelos, de tal forma, que se pudiera reponer al suelo la materia orgánica y microorganismos que se pierden durante la producción agrícola. Para obtener esos beneficios es necesario controlar ciertos factores que afectan el proceso de compostaje, los cuales son (Trejo Vázquez 1994):

- **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).** Esta relación es importante manejarla debido a que el carbono aporta la energía en el proceso de compostaje y el nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento de los microorganismo. La relación C/N de 25-35:1 es la adecuada al iniciar el composteo (Rosales 2011). Cuando hay excesos de carbono (relaciones C/N altas) el proceso de compostaje se alarga. Si hay exceso de nitrógeno (baja relación C/N) ocurre el proceso de autorregulación, que consiste en pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco. (Hernández 2008). En general las partes verdes y turgentes poseen una relación C/N baja, mientras que los residuos vegetales fibrosos secos tienen dicha relación alta. Conforme el proceso avanza la relación baja, siendo un rango óptimo de relación C/N entre 20-30:1 para el humus o compost que resulta como producto final (Trejo Vázquez 1994).
- **Temperatura.** Para la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas se considera temperaturas de 35-55°C. En algún momento del proceso la temperatura se mantiene entre 60-70°C. Temperaturas superiores a esta, elimina microorganismos benéficos para el proceso de compostaje. La temperatura óptima sería 15 días a 45°C y después dejar subir la temperatura a 60-70°C para eliminar los patógenos (Rosales 2011).
- **Humedad.** Necesaria para la acción de los microorganismos. El proceso de compostaje se realiza con una humedad de 30 al 70%, (óptimo: 40-60%). Las humedades superiores producen problemas con la aireación y por el contrario, las inferiores provocan baja actividad de los microorganismos (Rosales 2011).
- **pH.** Afecta directamente a los tipos de microorganismos presentes en el proceso de compostaje. Los desechos inicialmente tienen un pH entre 6 y 7. Al inicio del proceso desciende a 4.5-5.5 por consecuencia de la liberación de ácidos orgánicos. Luego, a medida que la temperatura asciende y se van liberando iones amonio del proceso, el pH se eleva y llega a niveles entre 8 y 9. Cuando el proceso ha finalizado, el pH se acerca a neutro, siendo un rango de 7-8 aceptable para el producto final (Hernández 2008).
- **Aireación.** La descomposición que se requiere es aerobia, por lo que el oxígeno es fundamental en el proceso del compostaje. Para mantener la condición aeróbica y así evitar condiciones anaerobias (se debe mantener menos del 10% del sustrato en condición anaerobia) se pueden realizar volteos, inserción de tubos a largo de toda la pila e inyección por medio de motores (Hernández 2008). La concentración óptima es de 5-10% de oxígeno en relación al volumen total de la pila. La aireación facilita la pérdida de CO₂. Cada volteo, además de airear, también disminuye en promedio 5-10°C la pila y homogeniza la mezcla (Rosales 2011).

d. Manejo de desechos. Actividades que van dirigidas a reducir el impacto ambiental de los desechos (Röben 2002)

e. Relleno sanitario. Es un vertedero o depósito final de basura o desecho en donde se realiza un proceso de tratamiento (frecuentemente usada la compactación) para reducir el impacto ambiental de los desechos (Rosales 2011). Aunque el vertedero de la zona 3 recibe una ligera compactación, el manejo no es el adecuado para ser considerado relleno sanitario (Prensa libre 2013).

f. Residuos sólidos: Materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, pero que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje (Córdoba Molina 2006).

g. Residuos sólidos domiciliarios: Son residuos que son producto de actividades realizadas en los domicilios u hogares (IARNA-URL 2012).

h. Residuos sólidos urbanos: Se refiere a todos los residuos que provienen de cualquier actividad realizada en zonas urbanas o en sus áreas de influencia. Pueden provenir de podas, talas, ferias, residuos domiciliarios, entre otros (Sztern, D. y M.A. Pravia. 1999)

i. Teoría de la difusión de Rogers. Es un modelo en el que se explica de forma coherente la forma en que los individuos o grupos de una población en particular adoptan una nueva tecnología o innovación (Prins 2005).

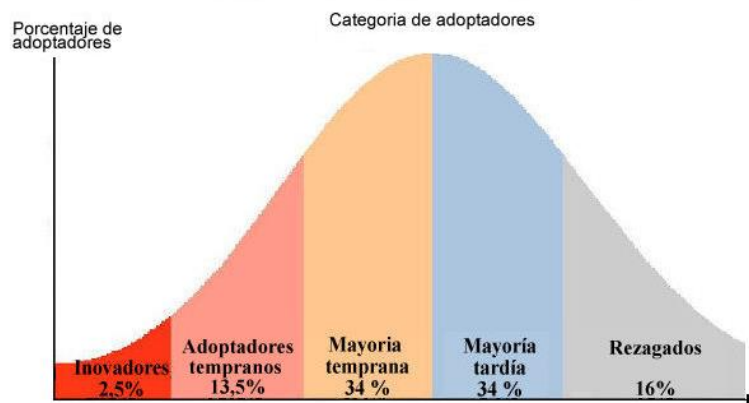


Figura 1. Modelo de innovación de Rogers
Fuente. FAUBA 2002

Rogers adaptó la curva normal para crear lo que se conoce como curva Rogers, con la cual se explica la forma en que los individuos aceptaban las innovaciones. Una breve descripción de la forma en que se pueden agrupar los grupos sociales de acuerdo al nivel de aceptación de tecnología es (Prins 2005):

- **Innovadores.** Son los primeros en adoptar una nueva herramienta y se estima que son el 2.5% de la población en general. Estos son los conocidos como

emprendedores, con recursos para entender y emplear rápidamente la tecnología. Se automotivan a seguir descubriendo nuevos usos (Horizonte 1996).

- **Adoptadores tempranos.** Son alrededor del 13.4% de la población. Son los que utilizan la tecnología de forma más racional y por eso, a menudo son considerados los líderes de opinión (Prins 2005).
- **Mayoría temprana.** Representa el 34% de la población. Este grupo tiene menos liderazgo que los adoptadores tempranos. Son los que no toman riesgos innecesarios, sino que deben estar seguros que una nueva tecnología tendrá éxito (Prins 2005).
- **Mayoría tardía.** Es un grupo del mismo tamaño que la mayoría temprana (34%) y frecuentemente adoptan la tecnología porque se ven obligados a hacerlo. Muy rara vez asumen un liderazgo dentro de los grupos sociales (Kotler y Roberto 1992).
- **Rezagados.** Representan el 16% de la población y usualmente son los que adoptan la tecnología hasta que el producto está en la etapa de madurez y cuando el cambio es necesario en el sistema. Son los que tienen como punto de referencia el pasado (Kotler y Roberto 1992)

j. Vertedero (Basura). Es el sitio en donde se hace la disposición final de la basura y en donde pueden o no recibir un tratamiento o manejo. Conocidos también como basureros, pueden ser oficiales y clandestinos (Córdoba Molina 2006).

Objetivos

- Estimar la inversión necesaria para implementar una planta de compostaje a partir de residuos provenientes de los mercados del municipio de Guatemala.
- Comparar la alternativa de realizar la planta de compostaje contra no realizarla y determinar la mejor decisión a tomar en base al VAN.
- Analizar el VAN de la compra de composteras domiciliarias para los hogares como fuente de mercadeo de la tecnología.
- Evaluar el impacto sobre el vertedero de la zona 3 y sobre la municipalidad de Guatemala de lo siguiente:
 - La planta de compostaje a de desechos provenientes de los mercados.
 - La introducción de composteras domiciliarias como alternativa para la reducción de emisiones de desechos sobre el vertedero de la zona 3.
- Determinar el impacto de las alternativas conjuntas sobre el vertedero de la zona 3 y sobre la municipalidad de Guatemala.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El fundamento de la metodología utilizada para realizar el diseño del plan de manejo de desechos orgánicos fue la planeación conjunta con los encargados de toma de decisiones de la ciudad de Guatemala (Diego Saravia principalmente). En conjunto se evaluaron alternativas y tecnologías que aparentemente se adaptan al municipio. Los materiales utilizados fueron:

- Computadora con programas de Microsoft office (Excel, Word) e internet.
- Registros y archivos de la ciudad de Guatemala
- Entrevistas con encargados de la toma de decisión.

Investigación exploratoria en la ciudad de Guatemala. El objetivo de realizar un estudio exploratorio en ciudad de Guatemala es definir el problema y la situación actual de la capital. Con esto se logró observar el avance de la municipalidad en temas relacionados con el manejo de desechos. La investigación exploratoria consistió en visitar la municipalidad para revisar archivos de proyectos relacionados con el tema que se han ejecutado o propuesto anteriormente. También se realizaron entrevistas a profundidad a los encargados del manejo de desechos sólidos en la ciudad de Guatemala².

Estudio mercado. El propósito fue obtener los volúmenes de desechos generados, establecer el alcance del proyecto para estimar el tamaño del mismo. Los datos de los desechos de mercado se obtuvieron de los registros de la municipalidad de Guatemala en el año 2009 y la información de los desechos de la población de las bases de datos del ministerio nacional de Estadística (INE) y de la ciudad de Guatemala en el año 2012 bajo el supuesto que la producción de desechos será constante a lo largo del tiempo.

La información requerida para el estudio de oferta fue la producción de desechos por personas en el municipio de Guatemala, el número promedio de personas por familia, el volumen de desechos generados por los mercados a evaluar, la composición de los desechos generados por las familias. Para el caso de la compostera domiciliar se evaluaron alternativas y se eligió a la que presentaba características que se acoplan a la producción de desechos promedio de la ciudad de Guatemala.

² Saravia, D. 2013. Planificación de diseños de aprovechamiento de residuos orgánicos de la ciudad de Guatemala. Comunicación personal

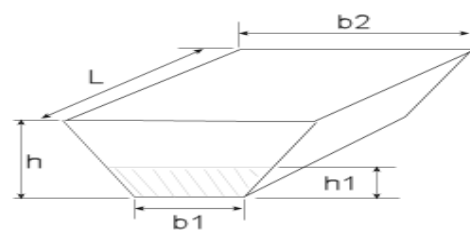
Para el cálculo de la demanda, se utilizó la información de lo que la municipalidad consume anualmente de materia orgánica, de acuerdo a las áreas verdes que le da mantenimiento anualmente. Para determinar la demanda de las composteras domiciliarias no hay una demanda localizada, por lo que se realizó una estimación de la demanda potencial por medio del modelo de difusión de innovaciones de Rogers. Se utilizó como mercado potencial el segmento de innovadores y primeros adoptantes.

Factibilidad técnica. La factibilidad técnica se realizó por medio de revisión bibliográfica de plantas municipales de otros países y estudios realizados anteriormente en la ciudad de Guatemala. También se tomó como guía documentos de implementación de composteras domiciliarias realizados en Santiago de Chile, Chile (Córdoba Molina 2006), en Loja, Ecuador (Huerta, O. *et al* 2008), Uruguay (Sztern y Pravia 1999) y en Bolivia (MM y A 2010).

a. Definición del proceso. El proceso del compostaje con residuos provenientes de mercados se realizó en base a otras plantas de compostaje adaptado al sistema de recolección del municipio de Guatemala. La implementación de composteras domiciliarias fue en base a revisión de literatura y a planeación conjunta con los encargados de la toma de decisiones de la municipalidad de Guatemala.

b. Área a utilizar (planta de compostaje). El área a utilizar se determinó de acuerdo a la cantidad de pilas que se tendrán en los 6 meses de producción de compost (Hernández, Solares 2008). El área a utilizar estará dividida de acuerdo a los requerimientos de la planta de compostaje, los cuales son: oficina y bodega, recepción, patio de compostaje, acondicionamiento y almacenamiento.

c. Número de pilas (planta de compostaje). Se determinó por medio de la fórmula de trapecio (Vitutor 2013). El volumen por cada pila está dado por la siguiente fórmula:



$$\text{Volumen} = \left(\frac{b1+b2}{2} \right) .h.L \quad [E1]$$

Donde:

b1: Base superior de la pila de compost (la pila es el inverso del dibujo)

b2: Base inferior de la pila de compost

h: Altura de la pila

L: Largo de la pila de compost

La cantidad máxima de material a tratar al mismo tiempo está en función de lo producido durante el tiempo del proceso de compostaje. Esa cantidad representa al volumen en proceso.

$$\text{Número de pilas en proceso} = \frac{\text{Volumen en proceso}}{\text{Volumen por pila de compost}} \quad [E2]$$

$$\text{Área de pila} = (b2 + \text{Dist. 1})(L + \text{Dist. 2}) \quad [E4]$$

Donde:

b2: Base inferior de la pila de compost

Dist. 1: Ancho de calle entre pilas

Dist. 2: Ancho de calles entre cabeceras de pilas.

d. Volumen de producción. El volumen de producción o de conversión de desechos orgánicos provenientes de mercados a compost se calculó en base a estudios realizados en los desechos de los mercados de la ciudad capital (Hernández Solares 2008) respaldado por estimaciones teóricas de otros estudios (Rosales 2011).

El rendimiento del compost domiciliario se estimó en base a estudios similares realizados en otros países y al estudio realizado en los desechos de mercados en la ciudad capital. En el estudio realizado en la ciudad de Guatemala, en el que se realizó compost a partir de desechos provenientes de mercados se demostró que el tiempo requerido para producir un compost, a partir de residuos orgánicos provenientes de mercados es de 120 días. También se comprobó que el compost obtenido se reporta libre de patógenos y cumple con los estándares microbiológicos y nutricionales establecidos para la comercialización de compost. El rendimiento de desechos provenientes de mercados a compost es del 30% en base al volumen (Hernández Solares 2008)

Factibilidad financiera. La factibilidad financiera es el respaldo de que el proyecto no solo beneficiará cualitativamente a los usuarios, sino que también representará una fuente de ingresos no monetarios para la municipalidad. Es importante recordar que este proyecto se ejecutará por la municipalidad y por lo tanto la compra del compost final no se hará de forma física, sino que solo se asumirán ingresos para el proyecto en caso de que el compost lo compraran terceros.

Los aspectos a considerar son:

a. Precio. Para el cálculo del precio de los sacos de compost de 45 kilogramos se utilizó la fórmula del precio esperado (Reconco 2012³):

$$\text{Precio} = \frac{\text{Precio optimista} + 4(\text{Precio más probable}) + \text{Precio Pesimista}}{6} \quad [E3]$$

b. Inversión inicial: Cantidad monetaria necesaria para iniciar el proyecto.

³ Reconco, R. 2012. Cursos impartidos en la carrera de AGN: Finanzas 2 (Presencial). Escuela Agrícola Panamericana.

c. Período de recuperación. Tiempo necesario para recuperar el valor de la inversión inicial más los gastos incurridos por el proyecto durante el período de recuperación. La forma de calcularlo es sumando los flujos neto de efectivo hasta que igualen a la inversión.

d. Tasa interna de retorno (TIR). Rentabilidad anual del proyecto al final de cada año. Tasa que reduce a cero el valor actual neto.

$$TIR = \sum_{t=1}^n [FC_t / (1+i)^t] - I_0 = 0$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial

FC: Flujo de caja del proyecto

i: Tasa de descuento o costo de oportunidad del capital

t: tiempo

n: vida útil del proyecto.

e. Valor actual neto o Valor presente neto (VAN o VPN). Valor de los flujos de efectivo, después de que se ha descontado el costo del capital de los aportadores de la inversión.

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{St}{(1+i)^t}$$

Donde:

VPN: Valor presente neto

S_0 : Inversión inicial

St. Flujo neto de efectivo del período

i: Tasa del costo de oportunidad del capital

t: número de período.

Ventas
(-) Costo de ventas
Utilidad Bruta
(-) Gastos de operación (Depreciación)
Utilidad de Operaciones
(-) Gastos financieros
Utilidad Antes de impuestos
(-) impuestos
Utilidad Neta
(-) Pago de dividendos
Utilidades Retenida
(+) Depreciación
Flujo Neto de efectivo

Figura 2. Modelo de flujo de efectivo.

Fuente. Madura 2009.

El flujo de efectivo utilizado (Figura 2) se construyó bajo el supuesto de que en los próximos 5 años de duración del proyecto la producción de desechos por parte de los mercados será constante. Los costos de producción se calcularon en base a otras plantas de compostaje (Rosales 2011).

Adicionalmente a los flujos, al final de los 5 años se estima el valor de rescate. El valor de rescate se calcula dividiendo el precio de los activos fijos entre la vida útil de los activos. El tiempo de vida útil se calculó en base a tablas que definen el valor de vida útil para cada tipo de activo fijo (Reconco 2012)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación consistió en evaluar dos alternativas que reducen la emisión de desechos orgánicos al vertedero de la zona 3. Para ello se elaboró un análisis del entorno de cada alternativa. Además se resaltaron los beneficios financieros (VAN) que cada alternativa proporciona a la municipalidad de Guatemala. Las alternativas evaluadas fueron: Composteras a partir de residuos provenientes de mercados y composteras domiciliarias en las zonas 12, 14 y 15 de la ciudad de Guatemala.

Se evaluó la alternativa de realizar la planta de compostaje a partir de residuos proveniente de mercados contra no realizar dicha planta. Al evaluar la realización de la planta de compostaje se estudiaron los aspectos relacionados con el mercado y las características técnicas, como un proyecto al cual se le quiere obtener rentabilidad.

Compostaje de residuos provenientes de mercados.

Mercado. Se estudió el mercado como un proyecto que se dedica a ofrecer servicios a un único cliente. Los aspectos evaluados en el mercado son: La oferta, la demanda, los productos sustitutos y el precio.

a. Oferta. Está determinada por la cantidad de residuos que se generan en los mercados de la ciudad capital. Se recolectará el residuo proveniente del mercado del CENMA (7,200 m³ anuales) y de otros mercados, que producen en total 38,400 m³ anuales (Muniguate 2013a)⁴. Con esta cantidad de desechos se puede producir 11,520 m³ de compost. El compost tiene una densidad de 0.70 Ton/m³ (Hernández Solares 2008), por lo que la producción de compost equivale a 8,064 toneladas anuales.

La oferta anual será de 8064,000 kilogramos de compost, equivalentes a 179,200 sacos de 45 kilogramos (con el supuesto de producción diaria constante). La comercialización del compost se da en sacos de 45 kilogramos. Esta es la medida estandarizada en Guatemala y el cálculos de dicha cantidad es por motivos de facilidad de cálculo de costos.

⁴ Muniguate. 2013a. Control de desechos generados en los mercados de la ciudad de Guatemala (No publicados). Ciudad de Guatemala, Guatemala. Archivo xlsx.

b. Demanda. La municipalidad anualmente compra 25,000 toneladas de una combinación de compost y suelo (Muniguate 2013b)⁵ para el mantenimiento de las áreas verdes. Esta es la máxima cantidad de compost que está dispuesto a procesar la municipalidad, cantidad por debajo de lo que ofrece el proyecto de compostaje a partir de desechos provenientes de mercados.

c. Sustitutos. Debido a que la utilización de compost por parte de la municipalidad de Guatemala es para mejorar las características del suelo y para reponer el suelo perdido por las lluvias en las áreas verdes y los árboles sembrados a lo largo de las carreteras de la capital, y no para aportar nutrientes, los productos sustitutos se limitan a otros compost o abonos orgánicos que se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Precios de compost en presentaciones de 45 kilogramos.

Tipo de Compost	Precio (Q.)	Precio (US \$) ^Ω
Lombri-humus	50	6.27
Cerdaza húmeda	20	2.51
Cerdaza seca	41	5.14
Compost de cadáver	20	2.51
Gallinaza fresca	10	1.25
Gallinaza seca	25	3.13
Gallinaza compostada	30	3.76
Compost de residuos domiciliarios	25	3.13
Mezcla tierra y compost	15	1.88

Ω: La tasa de cambio de Dólares americanos (US \$) a Q. (Quetzales) es de 7.98

Fuente: Recopilación del autor de fuentes primarias.

d. Precio. El precio de la mezcla de tierra es de US \$ 1.88 por saco de 45 kg. El precio del saco de 45 kg de compost es de US \$ 2.55 a US \$ 3.13 (Cuadro 1). El precio techo del compost de residuo domiciliario se tomó como el valor optimista, el precio piso se tomó como el valor más probable y el precio de la mezcla de tierra y compost (es el que utiliza actualmente la municipalidad) se tomó con el precio optimista.

$$\text{Ecuación 3: Precio} = \frac{1.88 + 4(2.55) + 3.13}{6} = \text{US \$2.01}$$

Consideraciones técnicas. Las consideraciones se basaron en otras investigaciones y según la recomendación de expertos que están involucrados en aspectos de compostaje.

⁵ Muniguate. 2013a. Control de gastos municipales (No publicados). Ciudad de Guatemala, Guatemala.

a. Construcción de instalaciones. Para la Elaboración del compost será necesario construir lo siguiente:

- **Oficina y bodega.** Servirá para almacenar los insumos utilizados en la elaboración de compost, así como elaborar reportes, llevar registros del propio proyecto y gestionar cualquier necesidad que se presente ante la elaboración de compost.
- **Área de recibo.** Es el sitio que dispondrán los camiones para depositar los desechos y en donde se puedan desplazar los operarios y la maquinaria para darle el manejo a las pilas de compost en proceso.
- **Patio de compostaje.** Sitio en donde estarán la pilas de compost. Esta área debe tener drenaje, para controlar de una mejor forma los lixiviados. El compost dura 120 días en madurar. Bajo el supuesto de que la producción de desechos es constante durante año se calcula:

$$\text{Producción residuos diarios} = \frac{38,400 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}{365 \frac{\text{día}}{\text{año}}} = 105.37 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El volumen perdido en promedio del material que estará será del 50% durante las etapas de producción (Córdoba Molina 2006), por lo que el volumen máximo en proceso será:

$$\text{Máximo vol. en proceso} = \left(105.37 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) (120 \text{ días de proceso}) (0.5 \text{ pérdida volumen})$$

$$\text{Máximo volumen en proceso} = 6,312.33 \text{ m}^3$$

Cada pila de compost tendrá 1.2 metros de altura (h), 1.5 m de base inferior (b1), 1.2 m de base superior (b2).

$$\text{Ecuación 1: Volumen por pila} = \left(\frac{1.5+1.2}{2} \right) (1.2)(20) = 32.40 \text{ m}^3$$

$$\text{Ecuación 2: Número de pilas} = \frac{12624.66 \text{ m}^3 \text{ total}}{32.40 \text{ m}^3/\text{pila}} = 195 \text{ pilas}$$

Se dejará un distanciamiento de 1 metro entre cada pila y entre las cabeceras de las pilas, por lo tanto el área superficial de terreno que abarca cada pila es:

$$\text{Ecuación 4: Área superficial para cada pila} = (1.5 \text{ m} + 1 \text{ m}) (20 \text{ m} + 1 \text{ m}) = 52.5 \text{ m}^2$$

$$\text{Área destinada a compostaje} = \left(\frac{52.5 \text{ m}^2}{\text{pila}} \right) (195 \text{ pilas}) = 10,131 \text{ m}^2 = 1.01 \text{ Ha}$$

- **Acondicionamiento y almacenamiento.** Bodega para el producto final, que consiste en un cuarto con buena luminosidad, libre de humedad y con accesibilidad a vehículos para mantener en buen estado los sacos y facilitar el transporte y la manipulación de los mismos.
- **Otras.** Áreas que para fines más específicos, como por ejemplo el sitio en donde se dispondrán los residuos leñosos para ser picados.

b. Maquinaria. Para la elaboración de compost es necesario utilizar maquinaria que optimizará el funcionamiento de la planta de compostaje.

- **Camiones.** Para mover el compost de los mercados hacia el sitio de compostaje. Diariamente se moverán 106 metros cúbicos en promedio, equivalentes a 42.4 toneladas. Los camiones recolectores hacen en promedio 3 viajes por día (Saravia 2013), por lo que se necesitan 4 camiones con capacidad de 4 toneladas cada uno para recolectar diariamente los residuos de la ciudad capital.
- **Tractores.** Para el movimiento del compost y otras actividades complementarias. Se necesitarán 3 Mini cargadores. Esto debido a que en promedio cada tractor puede mover 15 toneladas al día de material (Saravia 2013).
- **Picadoras.** Se utilizarán principalmente para reducir el tamaño de las partículas leñosas. Son necesarias 3 picadoras (Rosales 2011).

c. Contratación de personal. El proyecto se puede realizar contratando 1 Ingeniero agrónomo, 4 operarios de transporte (camiones), 4 operarios de los mini-cargadores, 3 operadores de las picadoras, 3 trabajadores de labores varias, 1 portero y 2 vigilantes. El ingeniero Agrónomo Tendrá a su cargo la coordinación del proyecto y desarrollo de actividades tanto de eventos de capacitaciones como de divulgación de las experiencias adquiridas durante el desarrollo del proyecto. Los operarios son los encargados de transportar los desechos de los mercados hacia el sitio de ubicación de la planta de compostaje. Los trabajadores de campo Tendrán a su cargo el mantenimiento de las instalaciones del proyecto y de las áreas aledañas, así como el manejo que se requiere en la elaboración de compost.

d. Rendimiento. Los desechos orgánicos generados por los mercados y presentados en el estudio de mercado serán los disponibles para la elaboración del compost. Por lo tanto, los rendimientos de compost están en función de los residuos generados. Los residuos generados por los mercados son 38,400 metros cúbicos anuales y tienen una densidad de 0.4 ton/m³. Con esto se obtiene un rendimiento de 11,520 metros cúbicos de compost con una densidad de 0.7 ton/m³. Durante el primer año solo se obtendrán 7,730 metros cúbicos de compost, debido a que lo que ingrese durante los últimos 120 días del año se transformará completamente en compost hasta el año 2 (Hernández Solares 2006)

e. Proceso. El proceso para realizar la planta de compost es similar al de cualquier planta de compostaje comercial, en este caso se utilizó la planta ubicada en Loja, Ecuador (Röben 2012). El proceso se resume en:

- **Capacitaciones.** El proceso inicia con las capacitaciones, debido a que hay que enseñar e informar a los inquilinos de los mercados algunos aspectos a considerar.
 - La importancia y beneficios de la clasificación de los desechos que se generan dentro del mismo del Central de Mayoreo.
 - Forma adecuada de depositar los desechos orgánicos e inorgánicos.
 - Beneficios que se adquirirán con el compostaje.
- **Recolección de los desechos.** Esta actividad se realizará durante las mañanas para que los desechos sean acondicionados en pilas durante el mismo día de la colecta.
- **Homogenizado y Apilado.** Como se mencionó anteriormente en el cálculo del área de compostaje, la pila no debe ser mayor a 1.5 metros de altura. Al momento de realizar la pila se debe realizar una mezcla lo más homogénea posible. Los camiones dejan los desechos en el patio de recibo en donde los operarios clasifican los desechos y quitan cualquier objeto que no sea orgánico y que se haya revuelto con los desechos orgánicos. Los materiales leñosos pasan por la picadora antes de ser introducidos al proceso.
- **Aplicación del acelerador de descomposición.** Cuando se obtiene la homogeneidad esperada, se procede a la aplicación de un acelerador natural de descomposición, lo que se realiza con bomba de mochila o de motor. El acelerador de descomposición se aplica cada vez que se va a tapar cada pila y se repite en los volteos únicamente cuando hay baja actividad de los microorganismos.
- **Manejo de lixiviados.** Se cuenta con drenajes para recolectar los lixiviados generados por los desechos, logrando con esto controlar los malos olores que se generan durante la descomposición y evitando que se reproduzcan moscas. Los lixiviados son captados por drenajes recolectándolos y llevándolos a un depósito en el cual son tratados con este mismo producto natural y luego se aplica de nuevo al material orgánico en proceso de descomposición para acelerar el proceso, reutilizando de nuevo estos líquidos con microorganismos benéficos y evitar así el desecho de los mismos. (En esta etapa se está monitoreando la temperatura y la humedad de los desechos en proceso de descomposición).
- **Remoción o volteo.** A las dos semanas, este material es removido y trasladado a otro sector dentro de la misma área, a manera de darle aireación para acelerar el proceso de descomposición, ya que los principales autores en este proceso son microorganismos aeróbicos. Este proceso se repite durante 120 días hasta obtener un compost sin olor, con un color oscuro y con textura fina, totalmente descompuesta y lista para utilizar.

- **Cernido.** El material pasa por un proceso de cernido para eliminar los plásticos que aún puede contener y los terrones formados, dejando un producto terminado con una mejor textura y apariencia, que podrá ser trasladado a las áreas en que se utilizará o la bodega en caso de no ser requerido y haya saturación del área de compostaje.
- **Monitoreo de características químicas y físicas.** A lo largo del proceso de compostaje se evalúan las características que llevan a un compostaje adecuado de acuerdo a los parámetros descritos en el proceso de compostaje (Ver revisión de literatura)

Factibilidad financiera. Se evalúo financieramente la diferencia entre ejecutar la planta de compostaje y no hacerlo. No realizar la planta de compostaje es seguir trabajando de la misma forma en que se está haciendo e incurre en el gasto de comprar la mezcla de tierra y compost y de seguir tratando este material orgánico en el vertedero de la zona 3.

a. Inversión inicial. La inversión necesaria para iniciar el proyecto es de US \$ 817,515 y se detallan en el cuadro 7. Esta inversión incluye los gastos para que la empresa funcione durante el primer año (Capital de trabajo). La tierra no se incluye debido a que la municipalidad de Guatemala dispone de terrenos para realizar el proyecto (Saravia 2013)

Cuadro 2. Costo de inversión de las instalaciones de la planta de compostaje.

Uso de las Instalaciones	Área (m ²)	Costo (US \$/m ²)	Costo (US \$/m ²)	Vida útil (años)	Depreciación (US \$/año)	Valor rescate (US \$/año)
Oficina y Bodega	150	160	24,000	20	1,200	18,000
Área de recibo	500	25	12,500	15	833	8,333
Patio de compostaje	10,131	35	354,585	12	29,549	206,841
Acondicionamiento y almacenamiento	500	30	15,000	12	1,250	8,750
Otras	1,200	50	60,000	10	6,000	30,000
Total	12,481		466,085		38,832	271,925

Fuente. Saravia 2013.

Los costos de inversión en instalaciones fueron calculados en base a información de precios promedios de la construcción en la ciudad capital de Guatemala. Saravia 2013 presenta estimados que se utilizan en la elaboración de presupuestos de construcciones en la zona. La construcción de las instalaciones está valorada en US \$ 271,925, costos que se efectúan en el año 0 del proyecto (Cuadro 2).

Cuadro 3. Inversión en maquinaria (US \$) para la planta de compostaje.

Maquinaria	Cantidad	Precio unitario	Total	Vida útil	Depreciación anual	Valor rescate
Mini cargador	3	35,000	105,000	12	8,750	61,250
Camiones	4	45,000	180,000	10	18,000	90,000
Picadoras	2	30,000	60,000	8	7,500	22,500
TOTAL			345,000		34,250	173,750

Fuente. Recopilación del autor de fuentes primarias.

El valor de la inversión en maquinaria es de US \$ 173,750 (Cuadro 3) que se efectúan en el año 0. La cantidad de maquinaria a utilizar se hizo en base a la capacidad esperada del equipo (Saravia 2013).

Cuadro 4. Inversión en equipo de oficina (US \$) para la planta de compostaje.

Equipo	Cantidad	Precio unitario	Total	Vida útil (años)	Depreciación	Valor rescate
Computadora	1	700	700	6	117	117
Impresora	1	90	90	5	18	-
Escritorio	1	700	700	5	140	-
Archivos	2	200	400	6	67	67
			1890		341	183

Fuente. Recopilación del autor de fuentes primarias.

El equipo para oficina es necesario para llevar a cabo las operaciones administrativas de la planta de compostaje, como cualquier planta de compostaje. Es necesario invertir en equipo de oficina US \$ 341 en el año 0 (Cuadro 4). La cantidad de artículos de oficina se determinó mediante la experiencia de Diego Saravia, encargado de medio ambiente de la ciudad de Guatemala, en proyectos ambientales. Los precios fueron tomados por el autor de fuentes primarias.

Cuadro 5. Inversión en instrumentos de trabajo (US \$) para la planta de compostaje.

Instrumentos	Cantidad	Precio unitario	Total	Vida útil (años)	Depreciación	Valor rescate
Balanza Eléctrica	1	550	550	6	92	92
Termómetro	5	100	500	5	100	-
pH	1	650	650	7	93	186
Conductividad eléctrica	1	110	110	7	16	31
TOTAL			1,810		300	309

Fuente. Recopilación del autor de fuentes primarias.

Cuadro 6. Inversión en herramientas de trabajo (US \$) para la planta de compostaje.

Herramienta	Cantidad	Precio unitario	Total	Vida útil (años)	Depreciación	Valor rescate
Bomba de mochila	4	100	400	6	67	67
Bomba de motor	1	500	500	7	71	143
Cinta métrica	3	10	30	5	6	-
Rastrillo	10	4	40	5	8	-
Pala	10	12	120	5	24	-
Barre hojas	10	4	40	5	8	-
Chuzo	10	25	250	6	42	42
Carretilla	10	60	600	6	100	100
Harnero Grueso	5	75	375	5	75	-
Harnero Fino	5	75	375	5	75	-
TOTAL			2,730		476	351

Fuente. Recopilación del autor de fuentes primarias.

Se necesitan US \$ 1,810 para los instrumentos de trabajo (Cuadro 5) y US \$ 2,730 para herramientas de trabajo (Cuadro 6) en el año 0. Los instrumentos de trabajo son los que ayudan a determinar las características físicas y químicas del compost. Las herramientas de trabajo son las necesarias para llevar a cabo cada una de las labores dentro de la planta. Se establecieron cantidades de acuerdo a los requerimientos de los municipios establecidos en la metodología.

Cuadro 7. Resumen de inversión inicial requerida para el proyecto

Tipo de inversión	Costo (US \$)	Depreciación (US \$/año)	Valor de rescate (US \$)
Instalaciones	466,085	38,832	271,925
Maquinaria	345,000	34,250	173,750
Herramientas	2,730	476	351
Oficina	1,890	341	183
Instrumentos	1,810	300	309
Capital de trabajo	221,245	0	221,245
Total	1038,760	74,199	667,763

Fuente. Cálculos del autor.

En total, se necesita una inversión de US \$ 1038,760 en el año 0 para iniciar la planta de compostaje a partir de residuos de mercados municipales (Cuadro 7). La depreciación se realizó de forma lineal en el tiempo. Se tomó como supuesto que los activos fijos no tienen valor de rescate. La vida útil se determinó por medio de tablas de estimados generales para los distintos activos fijos (Reconco 2012). El capital de trabajo es el dinero necesario para mantener en funcionamiento la empresa durante el primer año.

b. Costos de producción. Los costos de producción fueron calculados como una planta comercial de compost (Córdoba Molina 2006). Para ello se calcularon los costos de producción para el primer año y se estimaron los costos de los siguientes años en base a la inflación proyectada en Guatemala, que es 5.06% (BANGUAT 2013)

Cuadro 8. Gastos anuales en salarios (US \$) en la planta de compostaje.

Tipo personal	Cantidad	Mensual	Total mensual	Total anual
Administrador	1	1,800	1,800	25,200
Operario	11	700	7,700	107,800
Labores varias	3	400	1,200	16,800
Portero	1	400	400	5,600
Vigilantes	2	400	800	11,200
TOTAL	18	3,700	11,900	166,600

Fuente. Cálculos del autor.

Cuadro 9. Costos variables anuales en la planta de compostaje.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio unitario (US \$)	Total (US \$)
Combustible camiones	3,000	Galón	5	15,000
Combustible Mini cargador	700	Galón	5	3,500
Combustible Picadora	700	Galón	5	3,500
Mantenimiento vehículos	12	Unidad	300	3,600
Acelerador de descomposición	1,000	Kilogramos	20	20,000
TOTAL				45,600

Fuente. Cálculos del autor.

Cuadro 10. Gastos anuales (US \$) en materiales de la planta de compostaje.

Implementos	Cantidad	Precio unitario (US \$)	Total (US \$)
Guantes	7	5	35
Mascarillas	7	15	105
Gafas	7	5	35
Casco	7	10	70
Zapatos seguridad	7	70	490
Botas de hule	10	15	150
TOTAL			885

Fuente. Cálculos del autor.

Los costos variables anuales son US \$ 45,000 (Cuadro 9). Los costos en materiales representan un costo fijo de US \$ 885 anual (Cuadro 10). El combustibles fue calculado en base al consumo promedio que tienen los actuales camiones recolectores de basura de la ciudad de Guatemala. El acelerador de descomposición fue calculado en base a las indicaciones técnicas, dadas por el proveedor.

Cuadro 11. Resumen de costos anuales de producción de la planta de compostaje (US \$)

Tipo de Costo	Totales[¥]	Costos unitarios[£]
Costos Fijos		
Gastos en implementos	885	
Gastos en Salarios	166,600	
Otros gastos	8,160	
Total costos fijos	175,645	0.98
Total costos variables	45,600	0.25
Costos totales	221,245	1.23
¥: Costos para producir anualmente 179,200 sacos de 45 kilogramos de compost		
£: Costos unitarios por cada saco de 45 kilogramos producidos		

Fuente. Cálculos del autor

Los costos de producción fueron calculados para producir 179,200 sacos de 45 kg de compost anuales. Se estimaron en base a los municipios que realizan compost, junto con la experiencia de los expertos y tomadores de decisiones. Únicamente en el primer año se producen 120,285 sacos, debido a que los desechos tratados en los últimos 120 días, tiempo de transformación, serán cosechados hasta el año 2 (Hernández Solares 2008).

c. Flujo de efectivo. En el año 1 se realizó detalladamente el cálculo de los costos. A partir del año 2 se ajustaron los costos en base a la inflación. La inflación se calculó en base a los estimados del banco de Guatemala. Se le aplicó la inflación a costos fijos y variables. Los flujos de efectivos se llevaron al valor presente neto en el año 0, donde sólo se tiene el costo de la inversión inicial.

Cuadro 12. Variables a considerar para elaborar el flujo de efectivo.

Variables	Unidad de medida	Cantidad
Vida del proyecto	Años	5
Ventas anuales	Sacos de 45 kg	179,200
Precio	US \$	2.01
Desechos no tratados en vertedero	Toneladas/año	15,360
Costo de tratamiento de desechos	US \$/ton de desecho tratado	20
Costos fijos	US \$	175,645
Costos variables unitarios	US \$	0.25
Impuesto sobre la renta (ISR)	Porcentaje (%) anual	30
Inflación	Porcentaje (%) anual	5.05
Tasa de descuento	Porcentaje (%) anual	10
Inversión	US \$	1038,760

Fuente. Cálculos del autor

El cuadro 12 muestra las variables que se tomaron en cuenta para realizar el flujo de efectivo. La Misión Taiwanesa trabaja en proyectos de desarrollo de 5 años (Saravia 2013).

El costo de tratamiento de desechos es el costo que implica la disposición de una tonelada de desechos en el vertedero de la zona 3 (IIA y URL 2003). El costo de tratar cada tonelada en el vertedero de la zona 3 fue calculado en base a un estudio realizado en el año 2002 por IIA y URL, al cual se le aplicó la inflación de ese año hasta el presente. El costo en el 2002 fue de 9 dólares.

La decisión final se debe tomar en cuanto a realiza o no la compostera a partir de residuos provenientes de mercados. Si se realiza el compostaje de los residuos de mercados se produce compost y el ahorro por no tratar desechos en el vertedero se percibe como un ingreso adicional. Si por el contrario no se realiza la planta de compostaje se incurre en la compra de la mezcla de tierra y compost.

Cuadro 13. Flujo de efectivo proyectado (US \$) para la planta de compostaje.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos					
Ingresos por compost	241,773	360,192	360,192	360,192	360,192
Desechos no tratados	307,200	307,200	307,200	307,200	307,200
Ingresos brutos	548,973	667,392	667,392	667,392	667,392
Costos variables	45,600	47,903	50,322	52,863	55,533
Costos fijos	175,645	184,515	193,833	203,622	213,905
Costos totales	221,245	232,418	244,155	256,485	269,437
Utilidad bruta	327,728	434,974	423,237	410,907	397,955
Depreciación activos fijos	74,199	74,199	74,199	74,199	74,199
Utilidad contable	253,528	360,775	349,038	336,708	323,755
Impuestos	76,058.49	108,232	104,711	101,012	97,127
Utilidad neta	177,470	252,542	244,326	235,695	226,629
Depreciación activos fijos	74,199	74,199	74,199	74,199	74,199
Valor de rescate					667,763
Flujo Efectivo	251,669	326,742	318,526	309,895	968,591
Flujo Efectivo acumulado	-787,091	-460,349	-141,823	168,072	1136,663

Fuente. Cálculos del autor.

El flujo de efectivo del proyecto de planta de compostaje está basado en el supuesto de que el compost resultante de la actividad es comprado por la misma municipalidad de Guatemala (Cuadro 13). En las especificaciones de mercado se observa que existe potencial de compra por parte de la entidad municipal que sobrepasa la oferta del proyecto. Para que este flujo de efectivo funcione correctamente y que el proyecto se lleve a cabo la municipalidad debe destinar la cantidad de ingresos totales al proyecto de compostaje. El ahorro en el vertedero del flujo de efectivo representa los US \$20 que se ahorra la municipalidad por cada tonelada que deja de llegar al vertedero de la zona 3 (IIA y URL 2003).

Cuadro 14. Flujo de efectivo (US \$) para la compra de mezcla tierra y compost.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Sacos mezcla	179,200.00	179,200.00	179,200.00	179,200.00	179,200.00
Precios	-1.88	-1.88	-1.88	-1.88	-1.88
Costos anuales	-336,896.00	-336,896.00	-336,896.00	-336,896.00	-336,896.00

Fuente. Cálculos del autor.

El flujo de efectivo de comprar la mezcla de tierra y compost está basado en el supuesto de que la municipalidad no realiza el compostaje de los desechos provenientes de mercados. En esta situación, el único gasto incurrido se dará por la compra de la mezcla de tierra y compost y sin realizar ninguna inversión. En resumen, tal y como se ha estado haciendo hasta el momento.

Cuadro 15. Resumen de indicadores de los proyectos evaluados.

Indicador	Unidad Medida	Planta compostaje	Comprar mezcla
Inversión inicial	US \$	1038,760	0
VAN (10%)	US \$	512,459	-1277,101
Período recuperación	Años	3.45	0
TIR	%	24.20	N/A

Fuente. Cálculos del autor.

El criterio para evaluar los proyectos de inversión independientes es que tenga el valor actual neto mayor a 0. Cuando se evalúan proyectos mutuamente excluyentes, como en este caso, el criterio es que se escoge el que tenga el valor actual neto mayor. En este caso en particular, el realizar compostaje con los residuos provenientes de los mercados es la mejor opción (cuadro 15). Adicionalmente el proyecto por sí solo, ya tiene un valor actual neto mayor que cero.

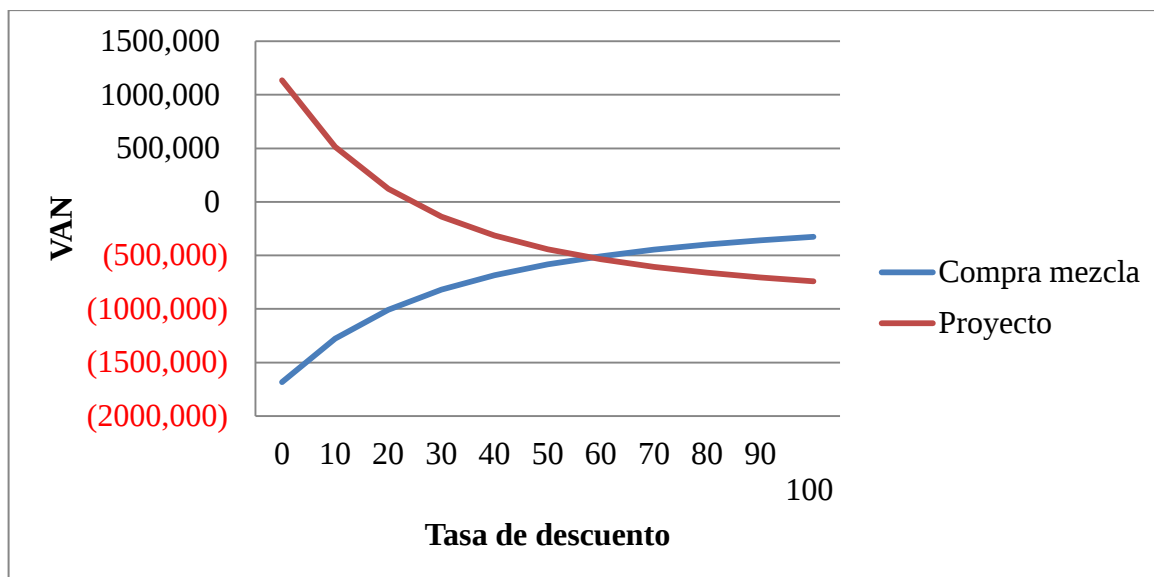


Figura 3. Comparación del VAN del proyecto de compost contra la compra de la mezcla de tierra y compost a diferentes tasas de descuento

Fuente. Autor

La mejor opción, en base al VAN, es construir la planta de compostaje a partir de los desechos provenientes de los mercados. Esta opción prevalece como la mejor siempre y cuando la tasa de descuento sea inferior a 58.14%. A partir de esa tasa de descuento, el VAN de comprar la mezcla se vuelve mayor, por lo que la mejor opción sería no realizar el proyecto de compostaje (Figura 3). En cuanto a la emisión de desechos, las 26,880 toneladas que se dejan de enviar al vertedero de la zona 3 representa el 4.91% del total de lo que entra diariamente al vertedero. El VAN (10%) del ahorro equivale a US \$ 1164,530 durante los 5 años de vida del proyecto de compostaje.

Cuadro 16 Matriz de sensibilidad GATOF para la planta de compostaje domiciliario

VAN 10%	Costo Variable Unitario																
	-20%	-15%	-10%	-5.00%	0.00%	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%	253.66%	286.86%	320.05%	353.25%	386.45%	419.65%	452.84%	486%
-61.22% 0.78	0	6,630	13,261	19,891	26,521	33,152	39,782	46,413	53,043	362,894	406,916	450,937	494,959	538,980	583,002	627,023	671,045
-60.46% 0.79	6,630	0	6,630	13,261	19,891	26,521	33,152	39,782	46,413	356,264	400,286	444,307	488,329	532,350	576,372	620,393	664,415
-59.71% 0.81	13,261	6,630	0	6,630	13,261	19,891	26,521	33,152	39,782	349,634	393,655	437,677	481,698	525,720	569,741	613,763	657,784
-58.96% 0.82	19,891	13,261	6,630	0	6,630	13,261	19,891	26,521	33,152	343,003	387,025	431,046	475,068	519,089	563,111	607,132	651,154
-58.21% 0.84	26,521	19,891	13,261	6,630	0	6,630	13,261	19,891	26,521	336,373	380,394	424,416	468,437	512,459	556,480	600,502	644,523
-57.45% 0.86	33,152	26,521	19,891	13,261	6,630	0	6,630	13,261	19,891	329,743	373,764	417,786	461,807	505,829	549,850	593,872	637,893
-56.70% 0.87	39,782	33,152	26,521	19,891	13,261	6,630	0	6,630	13,261	323,112	367,134	411,155	455,177	499,198	543,220	587,241	631,263
-55.95% 0.89	46,413	39,782	33,152	26,521	19,891	13,261	6,630	0	6,630	316,482	360,503	404,525	448,546	492,568	536,589	580,611	624,632
-55.19% 0.90	53,043	46,413	39,782	33,152	26,521	19,891	13,261	6,630	0	309,852	353,873	397,895	441,916	485,938	529,959	573,981	618,002
-20.00% 1.61	362,894	356,264	349,634	343,003	336,373	329,743	323,112	316,482	309,852	0	44,022	88,043	132,065	176,086	220,108	264,129	308,151
-15.00% 1.71	406,916	400,286	393,655	387,025	380,394	373,764	367,134	360,503	353,873	44,022	0	44,022	88,043	132,065	176,086	220,108	264,129
-10.00% 1.81	450,937	444,307	437,677	431,046	424,416	417,786	411,155	404,525	397,895	88,043	44,022	0	44,022	88,043	132,065	176,086	220,108
-5.00% 1.91	494,959	488,329	481,698	475,068	468,437	461,807	455,177	448,546	441,916	132,065	88,043	44,022	0	44,022	88,043	132,065	176,086
0.00% 2.01	538,980	532,350	525,720	519,089	512,459	505,829	499,198	492,568	485,938	176,086	132,065	88,043	44,022	0	44,022	88,043	132,065
5.00% 2.11	583,002	576,372	569,741	563,111	556,480	549,850	543,220	536,589	529,959	220,108	176,086	132,065	88,043	44,022	0	44,022	88,043
10.00% 2.21	627,023	620,393	613,763	607,132	600,502	593,872	587,241	580,611	573,981	264,129	220,108	176,086	132,065	88,043	44,022	0	44,022
15.00% 2.31	671,045	664,415	657,784	651,154	644,523	637,893	631,263	624,632	618,002	308,151	264,129	220,108	176,086	132,065	88,043	44,022	0
20.00% 2.41	715,066	708,436	701,806	695,175	688,545	681,915	675,284	668,654	662,024	352,172	308,151	264,129	220,108	176,086	132,065	88,043	44,022

Fuente. Cálculos del autor.

Valores positivos
Valores negativos

Si el precio se mantiene constante, los costos de variables unitarios se podrían elevar hasta un 386% y aun así el proyecto de la planta de compostaje a partir de desechos provenientes de mercados continúa siendo factible, según el VAN. Por otro lado, si los costos variables se mantienen de acuerdo a lo estimado, el precio del compost puede bajar el 58% y aun así la planta de compostaje continúa siendo factible, de acuerdo al método del VAN (Cuadro16).

Implementación de composteras domiciliarias.

Consideraciones del mercado. Actualmente no existe un mercado bien definido para las composteras domiciliarias. Esto debido a que en Guatemala no hay empresas que se dediquen a la comercialización de estas. Tampoco existen estudios anteriores del mercado de dichas composteras.

a. Generación de residuos. La generación de residuos por persona en la ciudad capital es de 0.59 kilogramos por día (INE 2009). El 71% de los hogares cuentan con sistema de recolección de basura (URBANÍSTICA 2009).

La producción de desechos orgánicos por persona es de 0.28 kg por día en el municipio de Guatemala. Una persona promedio genera desechos con 33% de madera y follaje y 15% de residuos de alimentos, que hace un total de 48% de material orgánico (INE 2009).

b. El producto. La prueba de la implementación de las composteras se realizará con familias de la zona 12, 14 y 15 de la ciudad capital durante dos años. Se realizarán campañas de capacitaciones en donde se harán demostraciones de cómo deben ser utilizadas las composteras domiciliarias. En dichas reuniones también se solucionarán inquietudes de los participantes.

El volumen máximo que debe contener una compostera domiciliar se da en las primeras 20 semanas (140 días) de su uso, momento en el que ha perdido el 50% del volumen los desechos (Rosales 2011)

$$\begin{aligned}
 \text{Máximo/persona} &= (\text{período crítico}) \times (\text{producción/día}) \\
 \text{Máximo/persona} &= (140\text{días}) \times (0.28 \text{ kg/día}) = 39.2 \text{ kg/persona.} \\
 \text{Máximo/hogar} &= (39.2 \text{ kg/pers}) \times (5 \text{ pers/hogar}) = 196.0 \text{ kg/hogar} \\
 \text{Vol. máximo/hogar} &= (\text{Máximo/hogar}) \times (\text{conversión vol/peso de desechos})
 \end{aligned}$$

$$\text{Vol. máximo/hogar} = \left(\frac{196 \text{ kg}}{\text{hogar}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ m}^3}{400 \text{ kg}} \right) (50\% \text{ pérdida}) = 0.24 \text{ m}^3 \text{ por hogar}$$

El tipo de compostera a utilizar es la proporcionada por la empresa dedoverde, una empresa que por más de 150 composteras capacita y hace demostraciones acerca del funcionamiento y eficiencia de dicha compostera domiciliaria. La compostera está formada por 4 módulos o compartimientos con capacidad para desechos de 1.5 personas cada uno, según la producción de la ciudad capital, por lo que tiene una capacidad para hasta 6 personas de forma constante. Por lo tanto la compostera proporcionada por dedoverde es la ideal para la cantidad de desechos que generan en promedio los hogares promedio de 5 personas en la ciudad capital y queda aún espacio de holgura para los hogares de mayor número de miembros o con mayor generación de residuos. Las composteras abarcan un área menor a un metro cuadrado, por lo que pueden ser ubicadas con facilidad en los jardines de los usuarios.

c. Oferta. Actualmente en Guatemala no existen empresas que dediquen a la comercialización de composteras domiciliarias. Debido a que es un nicho de mercado nuevo, se trabajará en base a metas. En planeación conjunta con los tomadores de decisiones en la municipalidad de Guatemala se establecieron metas de ventas de 1500 composteras los dos primeros años, los cuales serán los años de prueba de adaptación de esta tecnología. Esta cantidad está por debajo de la demanda potencial pesimista que se calculó en el siguiente bloque de demanda.

d. Demanda potencial. El mercado meta es la clase media-alta y alta de la ciudad de Guatemala, específicamente los habitantes de la zona 12, 14, 15. Estas zonas presentan un área residencial bien establecida debido a la alta densidad poblacional y pertenecen a la clase alta (URBANÍSTICA 2009). Adicionalmente esta son las zonas en donde se han localizado a las mayores concentraciones de innovadores y primeros adoptantes, según la curva de Rogers, por lo que serían los hogares a implementar la tecnología de composteras domiciliarias (Saravia 2013).

$$\text{Demanda potencial ciudad de Guatemala} = \frac{(221,969)(16)}{100} = 35,515.04$$

Según la curva de adopción de tecnología de Rogers, el 2.5% de una población normal son considerados innovadores y el 13.5% primeros adoptantes (Kotler y Roberto 1992). Se estima que la ciudad capital cuenta con una población de 993552 personas pertenecientes a 221,969 hogares y un promedio de 4.48 personas por familia (INE 2009). El modelo de Rogers es utilizado para la adopción normal de tecnologías, por lo que el supuesto no hace alusión a un incentivo por los adoptantes.

En la ciudad de Guatemala hay 35,515 hogares que son innovadores o primeros adoptantes. A través de otros proyectos que se han realizado en la capital, como por ejemplo el reciclato se ha observado que la mayor concentración de hogares innovadores y primeros adoptantes se encuentra en la zona 12, 14, 15, quienes cuentan con 10,858; 4,668 y 3,826 hogares respectivamente (URBANÍSTICA 2009)

$$\text{Demanda potencial meta} = \frac{(10,858 + 4,668 + 3,826)(16)}{100} = 3,095.04 \text{ hogares}$$

Esta es una demanda potencial o mercado objetivo pesimista, debido a que las zonas 12, 14 y 15 son las que mayor aceptación a nueva tecnologías tienen (Saravia 2013). Esto se ha demostrado en proyectos anteriores sociales y ambientales. Adicionalmente son zonas con alta capacidad adquisitiva o de clase social media-alta a alta. (URBANÍSITICA 2009)

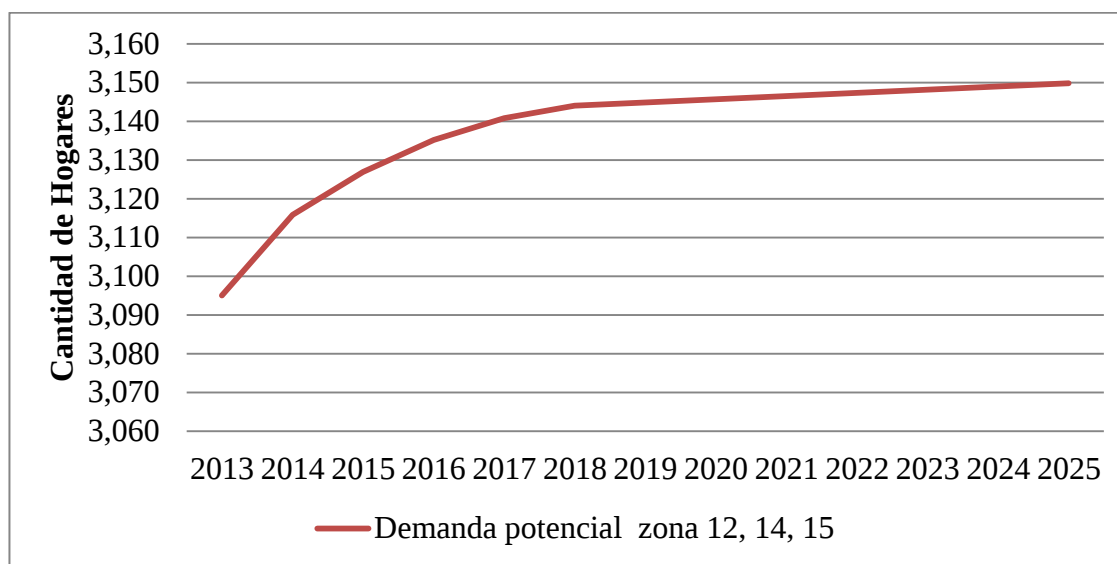


Figura 4. Composición de los desechos domiciliarios de la ciudad capital
Fuente. El autor

La demanda potencial para las zonas 12, 14 y 15 de la capital de Guatemala (Figura 4) fue estimada en base al segmento de la población de dichas zonas que conforman la parte de innovadores y primeros adoptantes de una población. Esto significa que durante el transcurso de la introducción de la tecnología de composteras domiciliarias esta demanda puede variar tanto hacia arriba como hacia abajo. La curva se construyó bajo el supuesto que la demanda incrementará al mismo ritmo del crecimiento poblacional.

e. Precio. El costo de la compostera domiciliar es de US\$ 60 para hasta 6 personas. A los hogares solo se les imputará el costo del valor de la compostera, de modo que el costo que pueda haber por procesos administrativos sea absorbido por el costo fijo administrativo que poseen los empleados municipales.

f. Marketing. Se harán capacitaciones y demostraciones para ir incentivando el deseo de querer hacer este tipo de composteras domiciliarias. Las capacitaciones iniciarán en el último bimestre del año 2013. En el análisis financiero se demostró que el método del VAN no es factible al momento de generar campañas de marketing.

Consideraciones técnicas. La forma de implementar las aboneras domiciliarias en la ciudad capital parte desde la planificación conjunta que se realizó con los encargados de la toma de decisiones de la ciudad de Guatemala. Esto, para establecer de forma clara las metas a seguir en el proyecto. Los primeros dos años de implementación servirán para obtener información real acerca del comportamiento del mercado de composteras y para hacer mejores estimaciones del impacto que causa esta tecnología en la deposición de desechos sobre el vertedero de la zona 3.

a. Planificación. Se harán jornadas de capacitaciones durante los primeros dos años cada mes, para ir introduciendo el tema del compostaje domiciliario a los hogares meta. Al final de cada charla o capacitación se inscribirán los nombres de las personas que quieran adquirir las composteras. Las compras se harán semestralmente, basadas en las metas de ventas y se irán reajustando durante el transcurso del proyecto. Es necesario enfatizar que previamente a introducir las composteras directamente a los usuarios, la municipalidad trabajará en pruebas con distintos proveedores, por lo que el proveedor recomendado en el documento no será el definitivo.

b. Rendimiento ventas. La meta de ventas anuales durante el primer y segundo año es de 1,500 composteras. El objetivo es probar la aceptación de la tecnología durante estos dos primeros años y luego re-planificar metas. Este tiempo es el esperado para que el grupo de mayoría temprana empiece a ser parte de la adquisición de esta nueva tecnología y con ello la demanda potencial crezca.

Cuadro 17. Proyección de las ventas y demanda insatisfecha de las zonas 12, 14 y 15 de la ciudad de Guatemala del proyecto de composteras domiciliarias.

Años	Demanda	Ventas	Ventas acumuladas	Demanda insatisfecha [€]
2014	3,095	1,500	1,500	1,595
2015	3,116	1,500	3,000	116

£: Demanda proyectada en base al crecimiento poblacional

€: Bajo el supuesto que la demanda insatisfecha es solo producto de los innovadores y primeros adoptantes.

Fuente. Cálculos del autor

c. Rendimiento compost. El rendimiento en compost por familia es de 207 kilogramos anuales. Una familia de la ciudad de Guatemala tiene en promedio 5 personas (INE 2009). Cada persona produce 0.59 kilogramos de desechos por día con 48% de orgánicos (0.28 kg de residuos orgánicos por persona al día). El rendimiento de desechos orgánicos a compost es del 40% en base al peso.

Análisis financiero. Se realizaron dos tipos de análisis económicos. Uno para determinar el beneficio económico que podría recibir cada usuario de las composteras domiciliarias. El otro que se realizó fue para la municipalidad, para determinar el impacto que las composteras domiciliarias generan como ahorro en el gasto del municipio.

a. Hogares. Los hogares tendrán un rendimiento económico por la compra de las composteras domiciliarias.

Cuadro 18. Flujo de efectivo por hogar de la ciudad de Guatemala durante 5 años de vida útil de compostera.

Indicador	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Producción (Sacos de 45 kg)	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60
Precio (US \$)	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13
Ingreso (US \$)	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
Inversión:	US \$ 60				
VAN (10%):	-US \$ 5.42				

Fuente. Cálculos del autor.

El valor actual para los hogares es – US \$ 5.42, por lo que el VAN no es una opción de mercadeo de las composteras domiciliarias. No obstante, la población que compone el segmento de primeros adoptantes e innovadores no decide por beneficios económicos, sino por el simple hecho de probar nuevas tecnologías (FAUBA 2002).

b. Municipalidad. Cada hogar de 5 personas en promedio genera al día 1.42 kilogramos de desechos orgánicos, equivalentes a 518.30 kilogramos al año.

Cuadro 19. Impacto de las composteras vendidas sobre el vertedero de la zona 3.

Años	Composteras vendidas [£]	Desechos colectados ^Ω (Ton/año)	Desechos colectados (Ton/día)	Ahorro anual ^μ (US \$)	Reducción de emisión diaria [¥] (%)
1	1,500	777.45	2.13	15,549	0.14
2	3,000	1,554.90	4.26	31,098	0.28

£: Composteras vendidas bajo el supuesto de que se cumplen las ventas planificadas

Ω: Desechos no dispuestos en el vertedero de la zona 3 debido a que son utilizados en las composteras domiciliarias vendidas

μ. Ahorro anual equivalente a los US \$ 20 que cuesta tratar cada tonelada en el vertedero de la zona 3.

¥: Porcentaje que representa desechos no dispuestos diariamente en el vertedero en base a las 1500 toneladas que llegan diario al vertedero

Fuente. Cálculos del autor.

Impacto conjunto de las alternativas. El impacto final se realizó uniendo lo que las tecnologías ahorran en cuanto a emisión de desechos sobre el vertedero de la zona 3. Esto es, sumando los 5 años de vida estimada para el proyecto de composteras a partir de residuos provenientes de mercados y los dos años que durará la fase de introducción de composteras domiciliarias. El costo por mantenimiento de vertedero es de US \$ 20 por cada tonelada de desechos.

Cuadro 20. Impacto en el ahorro de las alternativas de reducción de desechos orgánicos.

Año	Reducción de desechos orgánicos (Ton/año)		Total (Ton/año)	Ahorro anual (US \$)
	Composteras domiciliarias	Planta de compostaje		
1	777	15,360	16,137	322,749
2-5	1,555	15,360	16,915	338,298
TOTAL [£]	6,997	76,800	83,797	1675,941

£. El total representa la suma de los valores de los 5 años, o sea, el año 1 más 4 veces el valor de la columna que abarca del año 2 al 5.

Fuente. Cálculos del autor.

El vertedero de la zona 3 a un ritmo de 1,500 toneladas por día, tiene una vida útil restante de 5 años. Esto significa que tiene una capacidad de retener alrededor de 2737,500 toneladas de desechos orgánicos. El ahorro de 83,797 toneladas durante los 5 años (Cuadro 10) equivale a un ahorro de capacidad del 3.06%. Esta cantidad, en términos de tiempo implicar 2 meses más de vida útil del vertedero y en términos de VAN (10%) implica un ahorro de US \$ 1268,280 en los 5 años.

4. CONCLUSIONES

- La inversión necesaria para realizar una planta de compostaje de desechos provenientes de los mercados del municipio de Guatemala es de US \$ 1038,760. Con esto se obtiene un valor actual neto (VAN) al 10% de US \$ 512,7459, por lo que el proyecto es factible, utilizando como indicador el VAN.
- La mejor decisión a tomar por parte de la municipalidad entre realizar la planta de compostaje y no realizarla es: Realizar la planta de compostaje, debido a que tiene un VAN de US \$ 512,7459, contra un VAN de -US \$ 1277,101 que posee la opción de no realizar la planta de compostaje. Esta opción es mejor hasta tasas de descuento de 58.14%. A partir de esta tasa la mejor opción es no realizar la planta, siempre y cuando el método de evaluación sea el del VAN.
- La planta de compostaje reduce la emisión de desechos hacia el vertedero en 15,360 toneladas por año, equivalente al 2.80% de las emisiones que se realizan sobre el vertedero de la zona 3. Esto representa un ahorro para la municipalidad de US \$ 307,200 anuales, equivalentes a un VAN (10%) US \$1164,530 durante los 5 años del proyecto.
- El VAN (10%) de los hogares es de -US \$ 5.42, por lo que el mercadeo en base al valor actual neto queda descartado al momento de introducir la tecnología de composteras domiciliarias en el mercado meta de la ciudad de Guatemala.
- Cumplir las metas establecidas en cuanto a la distribución de las composteras domiciliarias genera una disminución de 0.14% (777 toneladas) durante el primer año y 0.28% (1,555 toneladas) durante el segundo año en las emisiones de desechos orgánicos al vertedero de la zona 3. Esto representa un ahorro para la municipalidad de US \$ 15,549 y US \$ 31,098 durante el primer y segundo año respectivamente. Esto genera un ahorro total de US \$ 46,647 o VAN (10%) de US \$ 39,836 en los dos años de evaluación de la tecnología de composteras domiciliarias.
- Las alternativas para reducir la cantidad de desechos orgánicos que se depositan sobre el vertedero de la zona 3 conjuntas reducen el 3.06% las deposiciones de desechos (83,797 toneladas) durante los 5 años de vida útil que le queda al vertedero. Esto representa un ahorro de US \$ 1675,941 o VAN (10%) de US \$ 1268,280 durante el tiempo de vida útil. Esto en términos de tiempo se traduce a 2 meses de vida útil adicional del vertedero.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la demanda potencial de composteras domiciliarias en otras zonas de la ciudad de Guatemala.
- Buscar otras alternativas de mercadeo, diferente al VAN, para las composteras domiciliarias. Esto, con el fin de aumentar la demanda de las composteras domiciliarias. Evaluar la televisión nacional como medio para diseminación de la información y evaluar la posibilidad de subsidiar cierta parte del costo de la abonera. El subsidio se podría dar en base a lo que le ahorra a la municipalidad la no deposición de estos materiales en el vertedero.
- Evaluar al segundo año de implementada la compostera la aceptación de la tecnología. Si es aceptada y la demanda crece, impulsar el uso de forma masiva en la ciudad capital. De lo contrario realizar un análisis económico para determinar el valor del incentivo que mueve a la población a adoptar la tecnología de composteras domiciliarias.
- Separar en el vertedero de la zona 3 los materiales orgánicos e incluirlos en la planta de compostaje.
- Generar otras alternativas que disminuyan la emisión de desechos en el vertedero de la zona 3. Estas alternativas pueden ser: Separación de los materiales de origen, con el fin de eliminar la contaminación de los materiales con potencial reciclable y la otra alternativa es la de utilizar la basura como combustible para genera energía en la planta de proceso de Cementos Progreso.

6. LITERATURA CITADA

BANGUAT (Banco de Guatemala). 2013. Inflación Histórica de Guatemala (En línea). Consultado el 12 de Octubre del 2013. Disponible en <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/sr/sr005>

Córdoba Molina, C. A. 2006. Estudio de factibilidad técnica-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Tesis Ing. Forestal. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile. 99 p.

FAUBA (Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires). 2002. Clase 3: Implicancias del momento de adopción de una innovación (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado el 9 de Septiembre de 2013. Disponible en http://www.agro.uba.ar/agro/ced/inno/clases/clase_3.htm

Hernández Solares, H. L. 2008. Experiencia en la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos provenientes de mercados de la ciudad capital y su valor agronómico. Tesis Ing. Agr. En sistemas de producción Agrícola. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Universidad de San Carlos. 47 p.

Horizonte informática educativa. 2009. Adopción de tecnologías: Modelo de difusión de innovaciones (En línea). Consultado el 15 de Septiembre de 2013. Disponible en http://www.horizonteweb.com/Adopcion_de_Tecnologias.pdf

Huerta, O., M. López, M. Soliva y M. Zaloña. 2008. Compostaje de Residuos municipales: Control del proceso, rendimiento y calidad del producto. España. 330 pág. ISBN 978-84-693-3036-4.

IIA y URL (Instituto de incidencia Ambiental y Universidad Rafael Landívar). 2003. Generación y manejo de desechos sólidos en Guatemala. Informe técnico 4. Vista Hermosa, Guatemala. 54 p.

IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). 2012. Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo. ISBN 978-9929-587-71-7. Serie No. 12. Ed. Reino países bajos. Guatemala. 440 p.

INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2011. Población en Guatemala (Demografía): Proyección de población por municipio 2008-2020 (en línea). Guatemala. Consultado el 15 de Mayo 2013. Disponible en <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/>

Kotler, P. y E.L. Roberto. 1992. Marketing social: Análisis de la difusión de productos sociales. Trad. Ignacio Martínez. Ed. Díaz de los Santos. Madrid, España. Lavel. 341p.

Madura, J. 2009. Administración financiera internacional. Ed. Cengage Learning. 9 ed. Distrito Federal, México. ISN 9786074810363. 647 p.

MM y A (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia). 2010. Guía para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos. Bolivia. 59 p.

Municipalidad de Guatemala. 2004. Cultura: Esquema de definición de zonas urbanas de la ciudad de Guatemala (en línea). Consultado el 9 de Octubre del 2013. Disponible en <http://cultura.muniguate.com/index.php/component/content/article/114-zonasciudad/678-zonasciudad>

Prins, C. M. Ortiz. 2005. Proceso de innovación rural en América Central: Reflexiones y aprendizajes. Ed. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Serie 337. ISBN 9977-57-401-4. 244 p.

Röben, E. 2002. Manual de compostaje para municipios (en línea). Ecuador. Consultado Agosto 2013. Disponible en <http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>

Rosales, A.J. 2011. Estudio de factibilidad técnica y económica de la producción de composteras domiciliarias. Tesis Ing. Industrial. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. 72 p.

Sztern, D. y M.A. Pravia. 1999. Manual para la elaboración de Compost: Bases conceptuales y procedimientos. Organización Mundial para la Salud. Uruguay. OPS/HEP/HES/URU/02.99. 69 p.

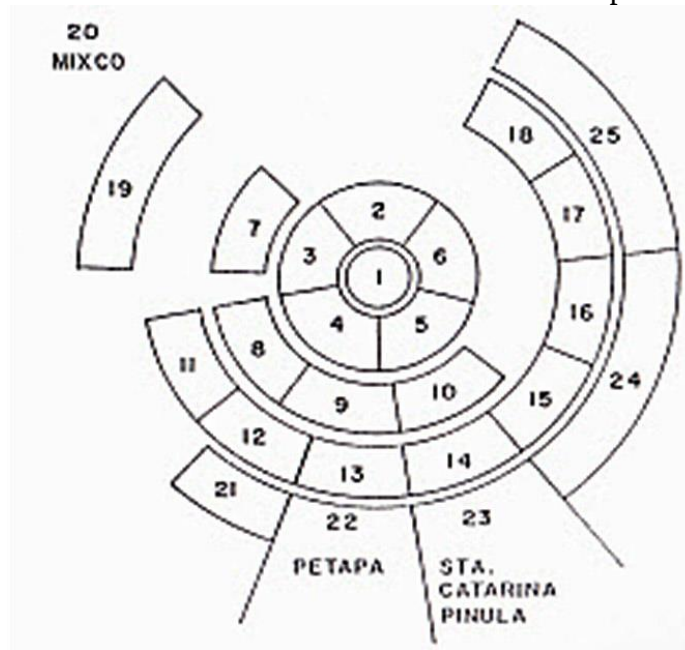
URBANÍSTICA (Taller del Espacio Público, Municipalidad de Guatemala). 2009. Información base del Departamento de Guatemala: Mapas temáticos de la ciudad de Guatemala (en línea). Consultado 20 de Mayo de 2013. Disponible en <http://infociudad.muniguate.com/Site/atlasciudad.html>

Vanegas, R. 1998. La transición hacia sistemas sustentables de producción. In: INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigadores Agropecuarios), SPOCH (Corporación Superior Politécnica de Chimborazo). Memorias: Primer simposio para la agricultura sustentable (Quito, Ecuador). Ed. IICA. (Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura). Venezuela. 52-67 p.

Vitutor. 2010. Fórmulas de figuras geométricas: Trapecio (En línea). Consultado el 10 de Agosto 2013. Disponible en <http://www.vitutor.net/2/1/15.html>.

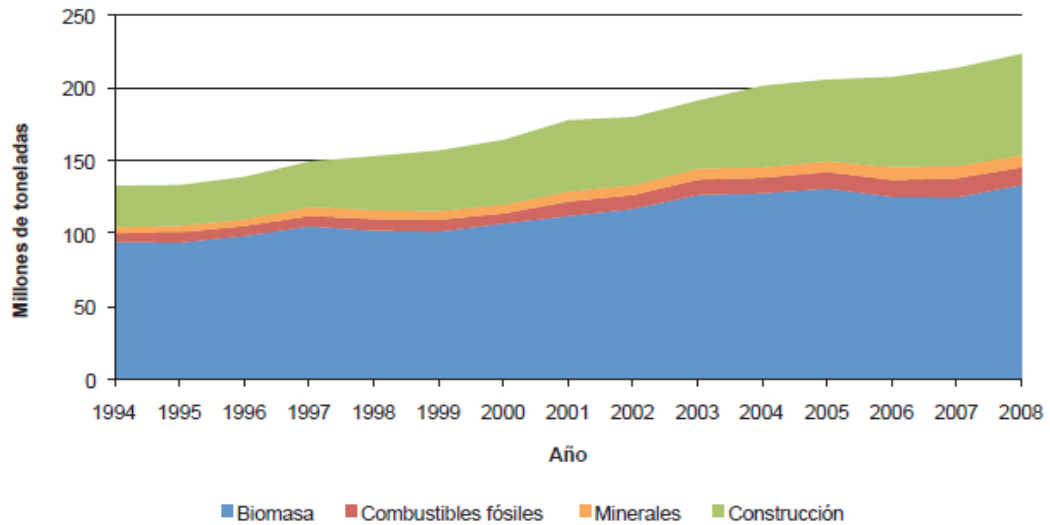
7. ANEXOS

Anexo 1. Esquema de definición de zonas urbanas de la ciudad capital.



Fuente. Munigate 2013.

Anexo 2. Consumo doméstico de materiales



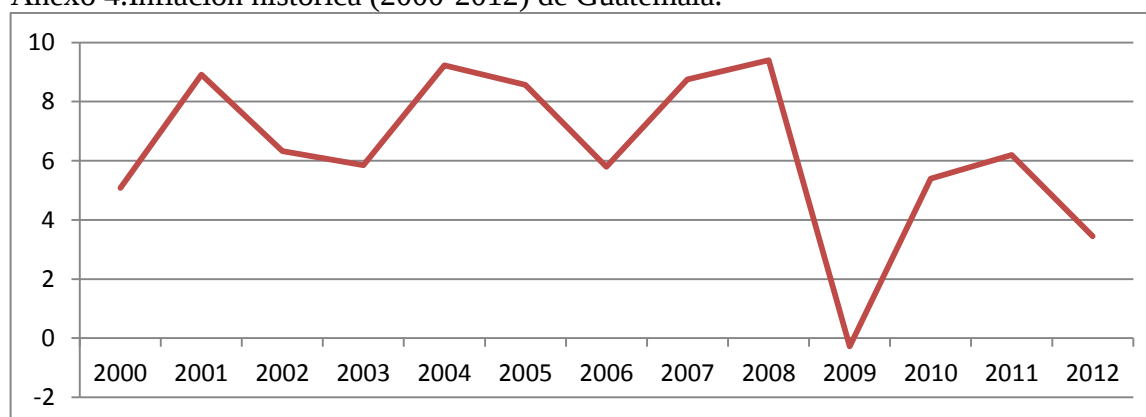
Fuente. IARNA-URL 2012

Anexo 3.Comparación del VAN del proyecto de compost contra la compra de la mezcla de tierra y compost a diferentes tasas de descuento

Tasa descuento	VAN comprar mezcla	Van proyecto
0	-1128,960	1527,928
10	-855,929	799,751
20	-675,256	340,668
30	-549,932	36,521
40	-459,524	-173,589
50	-392,116	-324,005
60	-340,431	-435,039
70	-299,842	-519,203
80	-267,303	-584,489
90	-240,748	-636,166
100	-218,736	-677,801

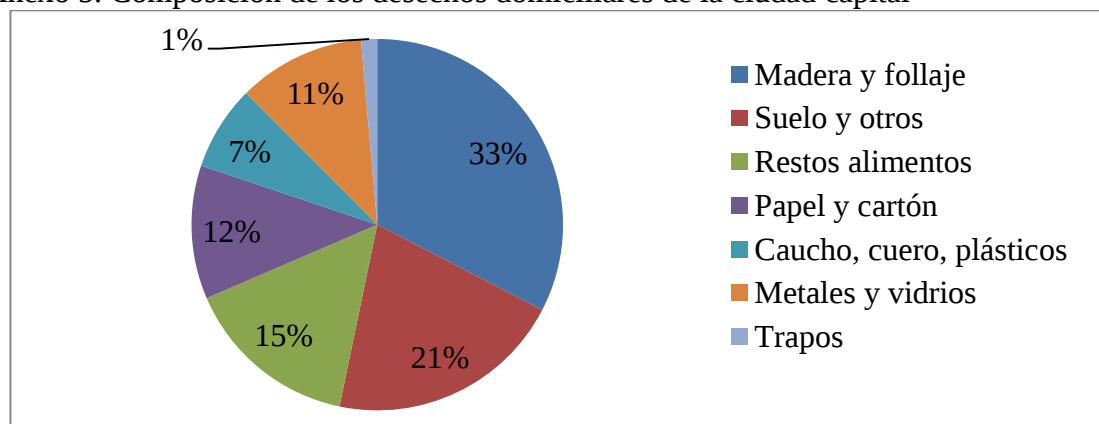
Fuente. Cálculos del autor

Anexo 4.Inflación histórica (2000-2012) de Guatemala.



Fuente. Banguat 2013.

Anexo 5. Composición de los desechos domiciliarios de la ciudad capital



Fuente. INE 2009 adaptado por el autor.

Anexo 6.Densidad poblacional por zonas en la ciudad de Guatemala para el año 2009.

Zona	Hogares	% Municipalidad[€]	% Privada^Ω	% Otra[£]
1	16,568	17.20	65.30	17.50
2	5,788	12.00	84.70	3.20
3	6,322	12.30	69.60	18.10
4	456	11.20	85.30	3.50
5	15,494	17.40	69.60	13.00
6	17,930	19.10	63.90	17.00
7	32,082	13.60	68.30	18.10
8	2,913	38.80	55.20	6.00
9	522	30.10	61.90	8.00
10	3,381	13.20	86.20	0.70
11	9,979	10.60	84.60	4.80
12	10,853	9.80	88.30	1.90
13	6,441	10.90	57.60	31.50
14	4,668	18.00	78.30	3.70
15	3,826	8.90	90.10	1.00
16	4,324	18.90	70.50	10.50
17	5,305	13.20	74.40	12.40
18	44,188	10.70	71.90	17.40
19	5,812	12.50	71.20	16.30
20	17,733	11.60	83.40	5.00
21	3,205	8.40	28.70	62.80
22	4,179	12.40	31.80	55.70
Ciudad	221,969	13.70	71.31	14.98

HOGARES: Grupo de individuos que comparten una cocina y/o área de comer. Se diferencia de la vivienda porque puede haber varios hogares en un edificio de vivienda y de la familia porque el hogar lo puede constituir un solo individuo.

€ (% MUNICIPALIDAD): Porcentaje de basura recogida por empresas privadas que trabajan bajo la concesión municipal del servicio

Ω (%PRIVADA): Porcentaje de basura recogida por empresas privadas que trabajan como empresas independientes. Muchas veces micro empresarios.

£ (%OTRA): La basura que no es recogida por ninguna de las empresas anteriores es quemada, tirada en basureros clandestinos no autorizados o enterrada. Esto sucede sobre todo en las zonas 24 y 25

Fuente. URBANÍSTICA 2009.