



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Química- Farmacia
Departamento de Ingeniería Química

Título: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA GESTION
INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN
LA CIUDAD DE SANTA CLARA.

TRABAJO DE DIPLOMA

Autor: *Leidy Benítez Viera*

Tutores: *Dr. C Ronaldo F Santos Herrero*

MSc: Teresa M Cárdenas Ferrer

Consultante: *Néstor Ley Chong*

2009



Pensamiento

“Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no escucha.....”

Víctor Hugo

Agradecimientos:

A mis tutores, por aceptarme como alumna, diseñar y criticar de manera constructiva este trabajo, dedicando ambos parte de su valioso tiempo y compartiendo conmigo sus ideas;

A mi consultante, que desde un inicio formó parte del equipo de trabajo, sin escatimar esfuerzo alguno;

A mis padres, esposo y amigos por toda la ayuda, comentarios y apoyo incondicional

A mis compañeros de trabajo por su inestimable y siempre oportuno apoyo

A los que han seguido de cerca este trabajo y han influido en mi formación medio ambiental

A todos,

¡MUCHAS GRACIAS!

Dedicatoria:

A mi familia, fuente de inspiración

Resumen

Dentro del amplio espectro de temas que guardan relación con una problemática de tanta actualidad como la protección del medio ambiente, la gestión de los residuos sólidos ocupa un lugar principal dentro de la gestión ambiental. Esta gestión integrada es el término aplicado a todas las actividades asociadas con el manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad; y su meta básica es administrar los residuos de una forma que sea compatible con el medio ambiente y la salud pública.

En este trabajo se analiza el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la Ciudad de Santa Clara en la actualidad, se estudian tres alternativas de gestión y tratamiento de los mismos mediante análisis económico y factibilidad de las alternativas propuestas utilizando Programa para Valoración Económica diseñado en Excel, herramienta que permite evaluar los impactos económicos totales de un proceso, producto o servicio, considerando todas las etapas de cada gestión.

La alternativa A1 consiste en un sistema de Recogida Selectiva pretendiendo aprovechar la fracción recuperable de los Residuos Sólidos Urbanos mediante clasificación en una Planta de Transferencia, específicamente de papel y cartón, aluminio, cobre, hierro, plásticos y vidrio, además de la construcción de un Relleno Sanitario logrando disminución en el vertido y al mismo tiempo seguridad, la alternativa A2 plantea aprovechar la fracción orgánica de los RSU (materiales fermentables de rápida y lenta descomposición) mediante tratamiento biológico (digestión anaerobia y compost); reciclar la fracción recuperable y disminuir considerablemente la disposición directa en el relleno, y la alternativa 3, reciclar los materiales recuperables, además de un sistema de incineración, disminuyendo también las cantidades a disponer en el relleno.

Se comprobó que la alternativa A2 es la más factible, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. El análisis económico demostró que dicha alternativa es factible, presentando un Valor Actual Neto de \$31.574.923,66, una Tasa Interna de Rendimiento del 118% y un Período de Recuperación de Descuento de aproximadamente 1año.

Palabras claves: Análisis de alternativas, Residuos Sólidos Urbanos, Biogás, Compost, Relleno Sanitario.

Abstract

There are wide spectrums of themes related to environmental protection, the solution of solid wastes elimination is one of the important aspects of environmental management. This integrated solution as the applied term to all activities associated with the management of different flows of wastes in society and the final purpose is to manage the wastes in a compatible form with environment and Public health.

In this work the Management System of Solid Wastes in Santa Clara municipality is analysis three alternatives of management and treatment are studied by means of computed programs helping in economical analysis, the factibility of the alternatives are evaluated allowing to know the total environmental impact of a product, process or service taking into account all the stages of the management system.

A1 alternative consist in a system of selective collection of Urban Solid Wastes by means of classification of materials in a transfer Plant such as paper, cardboard, aluminum, copper iron, plastics and glass the reusable fraction will be commercialized, this solution decreased landfill depositions and the non usable fraction will be deposited in a new garbish collection place created for this purpose, A2 alternative take into account the first stage of alternative one (classification and commerce), besides of treating the organic fraction by process of fermentation (the fast fermentative material will be treated by anaerobic digestion and slow fraction will be used to obtain compost). This alternative reduces considerably the depositions in the landfill and A3 alternative take into account the first stage of alternative A1 and A2 besides of an incineration system that decreased the amount of waste material in the landfill.

It was concluded that alternative A2 is the most feasible, economical and environmental solution of all studied, presenting a Net Present Value (NPV) of \$31.574.923,66 and Internal Return Rate (IRR) of 118% and a Recovering Time less than one year.

Key words: Alternatives Analysis, Solid Wastes Municipal, Biogas, Compost, Landfill.

INDICE

Resumen

INTRUCCION	1
CAPITULO I: MARCO TEORICO – REFERENCIAL DE LA INVESTIGACION	4
1.1 Residuos Sólidos Urbanos en el mundo.....	4
1.2 Clasificación de los residuos sólidos urbanos.....	8
1.3 Características de los residuos sólidos urbanos	9
1.3.1 Composición	9
1.3.2 Densidad	10
1.3.3 Solubilidad.....	10
1.3.4 Humedad.....	11
1.3.5 Poder calorífico	11
1.3.6 Relación Carbono/Nitrógeno(C/N)	12
1.4 Propiedades químicas de los RSU.	12
1.5 Propiedades biológicas de los RSU	13
1.6 Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos en el Mundo.....	13
1.7 Tratamientos de los residuos sólidos urbanos.....	17
1.7.1 Tratamiento Biológico:	17
1.7.2 Tratamiento Térmico:	18
1.7.3 Disposición final:	19
1.8 Manejo de los RSU en Cuba.	19
1.8.1 Almacenamiento, Recogida y Transportación:	22
1.8.2 Reciclaje.....	22
1.9 Marco Legislativo vigente en Cuba.....	24
Conclusiones Parciales.....	27
CAPITULO II. DIAGNOSTICO ACTUAL DEL SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE SANTA CLARA.	28
2.1 Caracterización Económico-Geográfica de la Ciudad de Santa Clara.	28
2.2 Descripción del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Ciudad Santa Clara.....	28
2.3 Manejo de los Residuos Hospitalarios	35
2.4 Caracterización del Vertedero Municipal	35
2.4.1 Condiciones Sanitarias del Vertedero	36
2.5 Clasificación de los RSU de la ciudad de Santa Clara.....	37
Conclusiones Parciales.....	40
Capítulo III: Análisis de Alternativas para la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Santa Clara.	41
3.1 Generalidades	41
3.2 Alternativa 1	41
3.2.1 Recogida Selectiva	42
3.2.2 Planta de Transferencia.....	42
3.2.2.1 Principales etapas y equipos necesarios en el proceso.....	43
3.2.3 Relleno Sanitario.....	44
3.3 Alternativa 2.....	51
3.3.1 Planta de producción de biogás y generación de electricidad a partir de la fracción orgánica de rápida descomposición de los RSU.....	52
3.3.2 Planta de producción de compost a partir de la fracción orgánica de los RSU.....	56
3.4 Alternativa 3.....	65

3.4.1	Miniplanta de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos con recuperación de energía.	66
	Conclusiones Parciales	77
	Conclusiones Generales.....	78
	Recomendaciones	79
	Bibliografía.	

ANEXOS

INTRODUCCION

El crecimiento poblacional, así como el desarrollo industrial, la urbanización y otros procesos y efectos del desarrollo experimentado por las ciudades en todo el mundo, vienen produciendo un incremento considerable en la cantidad y variedad de los residuos sólidos generados en las actividades desarrolladas por el hombre. Los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de estos residuos están afectando, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, como a las pequeñas poblaciones rurales.

La cantidad de basura generada es función directa del tamaño, tasa de crecimiento y nivel de ingreso de la población, de los patrones de consumo, del tipo y cantidad de los recursos económicos y tecnológicos con que se cuenta para manejarla, reciclarla, tratarla y aprovecharla, así como de las capacidades de gestión institucional y/o de su nivel de eficiencia.

Los residuos sólidos abandonados sufren procesos de degradación que se extienden durante décadas y pueden dar lugar a grandes contaminaciones al agua, suelo y aire. En vertederos de residuos urbanos, gran parte de estos impactos son resultado de la presencia de materia orgánica que va siendo degradada por microorganismos a lo largo del tiempo. Como consecuencia de estos fenómenos se favorece la proliferación de vectores sanitarios (insectos, roedores), el agua infiltrada en la masa de residuos arrastra componentes orgánicos no estabilizados y otras sustancias que se disuelven, generándose además gas y calor. La emisión de este gas a la atmósfera, formado principalmente por metano y dióxido de carbono, puede contribuir al efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono (por la presencia de hidrocarburos orgánicos volátiles clorados y fluorados) y generar molestias locales por malos olores.

Además, algunos compuestos orgánicos volátiles presentes en cantidades de traza son altamente tóxicos. Por otra parte las sustancias arrastradas por el lixiviado, orgánicas o no (como metales pesados ó sales), según dónde llegue su influencia, pueden contaminar los terrenos circundantes al vertido y las aguas superficiales y subterráneas. Por otro lado, el calor puede provocar incendios por combustión espontánea del residuo.

Para tratar de mitigar estos efectos, y otros que afectan directamente a la salud humana, como la proliferación de vectores sanitarios (insectos, roedores), en torno a los depósitos de basuras, a mediados del siglo pasado comenzaron a establecerse medidas de protección y control al respecto. Estas medidas han ido extendiéndose junto con la

conciencia ambiental en las sociedades más desarrolladas, hasta plasmarse recientemente en una extensa normativa sobre gestión de los residuos.

En las nuevas políticas de gestión de residuos desarrolladas en los países más industrializados, se da prioridad a cualquier tipo de aprovechamiento relegando el vertido a la última posición entre las alternativas de gestión. Todo lo contrario ocurre en los países más pobres, donde la disposición final de los RSU en vertederos o rellenos sanitarios es la práctica más común de tratamiento.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos generados por la población, atenta contra la calidad de vida de las personas y del medio que ellas habitan. La mejor forma de resolver el problema de manejo de residuos sólidos de una comunidad es utilizando un sistema integrado de manejo de residuos sólidos. Actualmente son variadas las alternativas disponibles para realizar una gestión eficiente de los residuos, sin embargo el desarrollo de soluciones integradas requiere de esfuerzos conjuntos entre instituciones públicas, municipios y la ciudadanía, y debe ser diseñado de acuerdo a características locales, en tanto que su operación debe basarse en los recursos comunales, económicos y técnicos.

La generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) y su manejo adecuado es un desafío para cualquier sociedad y su influencia negativa sobre su entorno crea la necesidad de su tratamiento ambiental y socialmente adecuados.

Para la elaboración de un sistema de gestión de residuos, es importante tener en cuenta los métodos de tratamiento que podrían aplicarse a los mismos como son la incineración, metanización, gasificación, reciclaje, compostaje, vertedero o relleno sanitario, principalmente. Todos estos métodos implican tanto beneficios como costos ambientales, por lo que es necesario definir cuál es el más factible de acuerdo a la localidad de que se trate.

PROBLEMA CIENTÍFICO

La inadecuada gestión y disposición que reciben los residuos sólidos en la ciudad de Santa Clara son una fuente contaminante al ecosistema y un peligro para la salud humana.

HIPÓTESIS

Con la aplicación de un adecuado Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos en la ciudad de Santa Clara, se logra minimizar la contaminación que estos emiten al medio al ser dispuestos.

OBJETIVO GENERAL

Analizar alternativas para la Gestión integral de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Santa Clara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Estudiar el Marco Teórico Referenciado al Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.
2. Realizar Diagnostico Actual del Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Santa Clara.
3. Evaluar económicamente las alternativas propuestas para el Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos de Santa Clara.
4. Proponer el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos adecuado para la Ciudad de Santa Clara.

CAPITULO I: MARCO TEORICO – REFERENCIAL DE LA INVESTIGACION

1.1 Residuos Sólidos Urbanos en el mundo

Este capítulo expone los resultados de un estudio amplio y minucioso de las temáticas mostradas, las cuales responden al hilo conductor del marco teórico – referencial de la investigación que se presenta.

Definiendo como Residuo Sólido Urbano (RSU) a todo aquel material que sea desechado por la población, pudiendo ser éste de origen doméstico, comercial, industrial, desechos de la vía pública y los resultantes de la construcción.

En los inicios de la civilización, el impacto del ser humano sobre la naturaleza fue limitado a intervenciones en pequeñas escalas, los miembros de las comunidades primitivas vivieron integrados al medio natural y de él obtenían sólo lo imprescindible para cubrir sus necesidades. Los desechos generados entonces, eran fácilmente asimilados por la naturaleza, ya fuera por las cantidades como por la composición química de los mismos.

Como resultado de las diferentes actividades productivas que desarrolla la sociedad, de manera inevitable se generan desechos, líquidos o sólidos que pueden tener efectos negativos sobre la salud humana y el ambiente. Los residuos sólidos son especialmente relevantes ya que con frecuencia se depositan en espacios urbanos como las calles, orillas de caminos, barrancas, cuerpos de agua, etcétera.

Por otro lado, en los países desarrollados e industrializados, el crecimiento de población y la concentración de la misma en los núcleos urbanos, unido a un mayor nivel de consumo y a la cultura de "usar y tirar", han contribuido a aumentar las cantidades de residuos sólidos urbanos, convirtiendo su gestión en uno de los mayores problemas a los que se enfrentan muchas ciudades (Ocaranza., 2003).

Cada año, alrededor del globo, los seres humanos producen 2 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos (sin contar los desechos industriales y hospitalarios). Estos elementos, al descomponerse, liberan sustancias tóxicas, exceden la capacidad de la naturaleza para degradarlos y permanecen enterrados cerca de las poblaciones humanas o diluidos en el aire que esas mismas comunidades respiran (Ver Anexo I).

La ONU prevé que hacia 2025 el mundo desarrollado quintuplicará la generación de desechos per cápita (Sarmiento, 2005).

Hasta muy recientemente los residuos se depositaban, en vertederos, ríos, mares o cualquier otro lugar que se encontrara a disposición. En las sociedades agrícolas y

ganaderas se producían muy pocos residuos no aprovechables. Con la industrialización y el desarrollo, la cantidad y variedad de residuos que se generan ha aumentado su cuantía y se siguen eliminando por el sistema del vertido. En los años cincuenta y sesenta del siglo pasado se comprobó las graves repercusiones para la higiene y la salud de las personas y los importantes impactos negativos sobre el ambiente que este sistema de eliminación de residuos tiene. Paralelamente a lo anterior la cantidad de todo tipo de residuos ha ido aumentando de forma acelerada y se ha hecho patente la necesidad de tratarlos adecuadamente para poder disminuir sus efectos negativos.

La gestión de los residuos sólidos es un problema de carácter mundial que, progresivamente, viene asumiendo dimensiones críticas para la mayoría de los países. Factores como el crecimiento demográfico, el urbanismo, la industrialización, la producción a gran escala y difusión del estilo descartable, no solamente, nos llevan al extraordinario incremento en la generación de residuos, sino que favorecen el agravamiento del problema, ya sea por su concentración geográfica (muchas veces en áreas sobrecargadas o ambientalmente frágiles), o por la inserción de residuos progresivamente más peligrosos. La necesidad de apartar los residuos se remonta a los orígenes del propio hombre, adquiriendo valores críticos crecientes a medida que la humanidad abandonaba la vida nómada, adoptando la vida sedentaria y, sobre todo urbana. En el pasado, los residuos eran constituidos casi exclusivamente por materia orgánica y, como las concentraciones humanas eran pequeñas, su disposición era de fácil solución, no implicando daños mayores a la capacidad de asimilación de la naturaleza.

Tabla 1.1: Composición de los residuos sólidos en algunas regiones del mundo.

Residuo	Estados Unidos de América	Europa	Buenos Aires, Argentina
Orgánico	29%	37%	40%
Papel/Cartón	41	28	24
Metal	8	3	3
Vidrio	6	17	5
Otros	7	6	14
Plásticos	9	9	14

Fuente: United States Environmental Protection Agency, European Environmental Agency, [Coordinación Ecológica del área metropolitana](#), [sociedad del estado](#), [Gobierno](#) de la Ciudad de [Buenos Aires](#), Argentina.

Tabla 1.2: Composición de los Residuos Sólidos municipales en países seleccionados de América Latina y el Caribe.

País/Ciudad	Cartón y Papel (kg)	Metal (kg)	Vidrio (kg)	Textiles (kg)	Plásticos (kg)	Orgánicos Putrescibles (kg)	Otros e inertes (kg)
Barbados	20.0	9.0	59.0	12.0
Belice	5.0	5.0	5.0	...	5.0	60.0	20.0
Costa Rica	20.7	2.1	2.3	4.1	17.7	49.8	3.3
Perú	7.5	2.3	3.4	1.5	4.3	54.5	25.9
Caracas	22.3	2.9	4.5	4.1	11.7	41.3	11.2
Asunción	10.2	1.3	3.5	1.2	4.2	58.2	19.9
Ecuador	9.6	0.7	3.7	...	4.5	71.4	...
Guatemala	13.9	1.8	3.2	0.9	8.1	63.3	8.8
México DF	20.9	3.1	7.6	4.5	8.4	44.0	11.5
Promedio	14,46	2,13	3,69	1,81	8,10	55,72	14,46

Fuente: Informe de la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos. OPS.2005

Para poder comprender este aspecto se hace necesario analizar algunas características de los residuales sólidos.

Esta situación tiene impactos no sólo desde el punto de vista ambiental, sino también de salud y económicos. La importancia de los impactos ambientales asociados a los residuos sólidos depende de las condiciones particulares de la localización, geomorfología, y demás características de los medios físico, biológico y social, así como las características de los materiales desechados. Por otra parte, la descarga y acumulación de residuos en el perímetro urbano producen impactos estéticos, malos olores y polvos irritantes.

Respecto de la salud, la existencia de "basureros" cerca de los centros poblados alienta la proliferación de vectores y epidemias. Además, la acumulación de basuras sin ningún tratamiento o manejo técnico adecuado, provocan el desarrollo de ratas, cucarachas y mosquitos, agentes todos estos, de graves enfermedades.

Por ejemplo, en 1m² de basura a cielo abierto, se producen 2.500.000 moscas por semana. Con respecto a la valorización económica, todo lo que se tira en los basureros oficiales o clandestinos de las ciudades tiene su valor económico. Grandes cantidades de

aluminio, papel, cobre, plásticos y textiles, entre otros, van a parar a esos sitios, perdiéndose así la posibilidad de reinsertarlos en el flujo económico. La pérdida económica se agrava si consideramos que este comportamiento hacia los desechos impacta negativamente en la valoración económica del medio ambiente y el sistema de salud pública.

Desde el punto de vista económico - ambiental, existe toda una gama de costos que habitualmente no son considerados ni por las empresas ni por la sociedad. En este sentido, la fabricación de un producto involucra varios problemas, entre los que podemos citar el consumo de recursos no renovables, la emisión de gases y la contaminación de las aguas.

La protección del Medio Ambiente, constituye un bien fundamental de la sociedad cubana como tal y así aparece en el artículo 27 de la Constitución de la República de Cuba. Así mismo la ley # 81 del Medio Ambiente del año 1997, expresa la voluntad gubernamental de atender global y particularmente todos los aspectos que estos dos términos reflejan. En su artículo 151 expresa que son los Servicios Comunales los encargados de Residuos Sólidos Urbanos.

La estructura institucional existente relacionada con los residuos sólidos define que es el estado quien asume totalmente las actividades del sector de residuos sólidos muy relacionados con la preservación de la salud y el medio ambiente, actividades que también asume en pleno el Estado Cubano.

Los organismos de la administración Central del Estado que contribuyen a la organización, control y elaboración de lo planificado para el sector son el Ministerio de Economía y Planificación (MEP); el Ministerio de la Salud Pública (MINSAP) y el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) respectivamente.

La interrelación que se produce entre estas instituciones para con el sector están reguladas por procedimientos establecidos oficialmente en disposiciones jurídicas que especifican las atribuciones y funciones de cada una (Daniel,A, 2007).

1.2 Clasificación de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, en dependencia de la importancia que revisten la utilidad, la peligrosidad, fuente de producción, posibilidades de tratamiento, tipo de materiales, entre otros.

A continuación se resumen las distintas terminologías que se les aplican a los RSU, según el criterio de clasificación que se tome como referencia y la interconexión que existe entre

ellos, pues para una mejor comprensión de su importancia en el manejo, se hace necesario integrar los distintos criterios de clasificación.

Criterios de clasificación de los RSU

Por su composición química	- Orgánicos - Inorgánicos
Por su utilidad o punto de vista económico	- Reciclables - No reciclables
Por su origen	- Domiciliarios - Comerciales - Constructivos - Industriales - Agrícolas
Por el riesgo	- Peligrosos - No inertes - Inertes

1.3 Características de los residuos sólidos urbanos

Las propiedades químicas de los componentes de los RSU, constituyen un elemento de significativa importancia para el uso y manejo que se haga de ellos. A partir de las características de los RSU, se toman las decisiones pertinentes relacionadas con el sistema de tratamiento más adecuado para cada caso (B.I.d, 1997).

1.3.1 Composición

La composición de los residuos sólidos urbanos es muy variada debido fundamentalmente a los diferentes factores relacionados con la actividad humana. En sentido general, la composición de los residuos sólidos urbanos puede estar determinada por:

- Las características de la población que los genera: Así por ejemplo, difieren grandemente según las particularidades poblacionales de las distintas áreas en las que se generan, como son la urbana, la rural, la turística, la industrial.
- La época del año en que se generan: En tal sentido, la influencia de las variaciones del clima en la agricultura, los cambios de actividad en períodos vacacionales, entre otros, inciden en la composición de los residuos.

- Estar determinada por el nivel cultural y económico de la población que los genera:
Lo anterior está muy relacionado con las características de los productos del primer grupo. Las características de los productos dependen de los hábitos de consumo y generación de residuos de los habitantes de las determinadas zonas (Garrigues, 2003).

La caracterización de los residuos es la clave para su manejo y disposición responsables. Al cuantificar las concentraciones de elementos potencialmente dañinos se pueden tomar decisiones acerca de su reutilización, reciclaje, tratamientos y/o eliminación. El conocimiento de la composición de estos es importante al decidir sobre la elección del sistema de tratamiento. La composición de los residuos sólidos urbanos es enormemente variable y en ella influyen una serie de factores muy diversos.

Los residuales sólidos están compuestos por (Damghani, 2007):

- Materiales inertes: metales, vidrios, cerámicas, arena, cenizas, escorias, escombros provenientes de reparaciones y construcciones, piedras, polvo, etc.
- Materiales fermentables: materia orgánica putrescible (pan, pescado, pajas, restos de alimentos).
- Materiales combustible: Componentes combustibles a excepción de la materia orgánica, papel, cartón, lana, tejidos, gomas, piel, plásticos, cueros, etc.

1.3.2 Densidad

Este parámetro influye sobre los medios de recogida y sobre las posibilidades de tratamiento. El peso específico de las sustancias que encontramos en los RSU, varía notablemente de unos a otros, de ahí que existan diferentes técnicas para la separación y clasificación de los elementos, así como de los medios de transportación más idóneos para cada caso, según las dimensiones del volumen de recogida.

$$P = m/v$$

Donde:

m: masa (kg)

v: volumen (m³)

1.3.3 Solubilidad

Se debe tener en cuenta esta propiedad ya que puede considerarse una vía de ingreso de contaminantes al suelo y acuíferos, en dependencia de la solubilidad en agua de los productos que forman los RSU. Otros productos son liposolubles y se acumulan en el

tejido adiposo de ciertos animales incluyendo el hombre, provocando efectos negativos en estos que pueden durar varios años pues quedan insertados en las cadenas de alimentación, provocando su acumulación y la generación de enfermedades.

1.3.4 Humedad

El grado de humedad de los RSU depende, además del propio residuo, del clima y de las estaciones del año. Los residuos orgánicos, son los más húmedos y se descomponen con facilidad y por la cantidad de materiales que incorporan al medio se utilizan generalmente para tareas de compostaje. Los inorgánicos por el contrario, son generalmente secos aunque algunas sustancias químicas que los componen, tienen un alto poder higroscópico por lo que absorben la humedad, favoreciendo el proceso de descomposición de otros elementos que estén a su alrededor y provocando reacciones químicas colaterales en las que se pueden formar otros agentes contaminantes.

De forma general se evalúa el contenido de humedad de una muestra de residuales sólidos a partir de la siguiente relación:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{Final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} \cdot 100$$

Donde:

Si el denominador es Peso inicial, se habla de humedad en base húmeda.

Si el denominador es Peso final, se habla de humedad en base seca.

1.3.5 Poder calorífico

Parámetro fundamental para decidir sobre el sistema de tratamiento a emplear para los RSU, especialmente si es factible o no emplear el proceso de incineración. Durante la descomposición de los RSU, el desprendimiento de energía en forma de calor es elevado y su valor depende de la cantidad y el tipo de sustancia que se descompone, este aumento de temperatura promueve otras reacciones colaterales en la que otros elementos, térmicamente inestables, también se descomponen, contribuyendo a la putrefacción de los residuos y generando condiciones de insalubridad. El poder calorífico inferior (PCI) de los RSU varía entre 800 y 1600kcal/kg, elemento a tener en cuenta para la generación de energía eléctrica a partir de éstos.

1.3.6 Relación Carbono/Nitrógeno(C/N)

La materia orgánica está constituida fundamentalmente por carbono, hidrógeno y otros elementos como el nitrógeno y el oxígeno. En dependencia de la proporción en que se encuentren el carbono y el nitrógeno en los residuos, serán sus propiedades ácidas o básicas, esto definirá la calidad del compost que se produzca con estos residuos y su potencial uso en dependencia de los requerimientos del tipo de suelo o cultivo que se vaya a tratar. El valor óptimo de la relación Carbono/Nitrógeno para labores de compostaje está entre 25 y 30, puesto que con valores superiores a esta cifra, el compost resultante no es óptimo para el desarrollo de los cultivos.

1.4 Propiedades químicas de los RSU.

Estas propiedades son importantes para evaluar la posibilidad de procesamiento y recuperación (Tchobanoglous, 2002). Si los residuos van a utilizarse como combustible las cuatro propiedades más importantes son:

- Análisis físico.
- Punto de fusión de las cenizas.
- Análisis elemental
- Contenido energético.

El **análisis físico** incluye los siguientes ensayos:

- Humedad: pérdida de humedad cuando se calienta durante una hora.
- Material volátil combustible: pérdida de peso adicional con la ignición a 950 °C en un crisol cubierto.
- Carbono fijo: rechazo combustible después de retirada la materia volátil.
- Ceniza: peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto.

El **punto de fusión** de la ceniza es la temperatura a la cuál la ceniza resultante de la incineraciones transforma en sólido (escoria) por la fusión y la aglomeración (las temperaturas típicas oscilan entre 1000°C y 1200°C).

El **análisis elemental** de los componentes implica la determinación del porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza, frecuentemente se incluyen la determinación de halógenos. Este análisis es importante para caracterizar la composición

química de la materia orgánica de los RSU, también se utiliza para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesarias para conseguir relaciones C/N aptas para los procesos de conversión biológica.

El **contenido energético** de los componentes de los residuos sólidos puede determinarse utilizando una caldera real como calorímetro, utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio y por cálculo si se conoce el análisis elemental.

1.5 Propiedades biológicas de los RSU

En la biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos puede utilizarse el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción biodegradable.

- La reducción de olores normalmente se produce por la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos fácilmente descomponibles presentes en los RSU.
- La producción de moscas en los climas cálidos, es una cuestión importante para el almacenamiento in situ (Tchobanoglous, 2002).

1.6 Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos en el Mundo

Las organizaciones Mundial y Panamericana de la Salud [OMS/OPS, 2004] establecen que el manejo de los residuos debe contemplar la minimización de su generación, así como un adecuado reciclaje, recolección, tratamiento y disposición final. Para lograr esto, cada país y cada ciudad conjugarán estas áreas en sus programas de acuerdo a sus condiciones locales y a sus capacidades económicas. De acuerdo con las metas a corto y mediano plazo fijadas en la Conferencia de Naciones realizada en Basilea en el año 1992, los países en desarrollo tendrán que establecer sus capacidades para monitorear las cuatro áreas temáticas mencionadas anteriormente y a la vez, para crear programas nacionales con metas propias para cada una de ellas.

Tchobanoglous (1994), Ramírez Carlos(2007) definen la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos como: “El control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, procesamiento y disposición de los desechos de manera acorde con los mejores principios de la salud pública, la economía, la ingeniería, la preservación, la estética, y otras consideraciones Medioambientales”

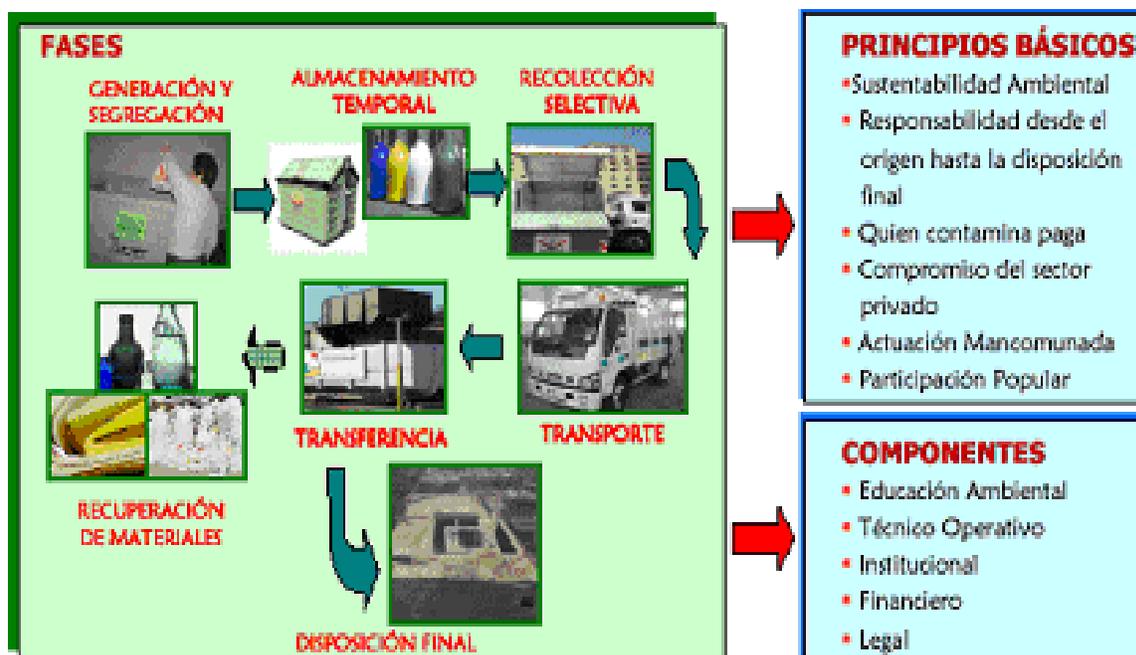
Por su parte Skinner J. (2004) sobre Gestión Integral de los Desechos Sólidos admite que: “La mayoría de los profesionales en el manejo de desechos sólidos admiten que no hay una única o simple solución para los problemas de los desechos sólidos. En cambio la

gestión integrada es necesaria combinando los elementos de varias técnicas. El manejo integral de desechos sólidos es una estrategia amplia que involucra 4 elementos principales (claves) aplicados de una manera integrada:

1. Reducción del volumen y toxicidad de los desechos sólidos que son generados.
2. Reciclaje y reutilización de los desechos hasta límites factibles.
3. Recuperación de energía de los desechos sobrantes por medio de sistemas de combustión equipados con las mejores tecnologías de control de contaminación disponible.
4. Utilización de basureros con controles medio ambientales adecuados.

Como plantea Castillo E. (2007) las fases para un Manejo integral de desechos sólidos están dadas en la siguiente figura.

Figura 1. Fases, principios y componentes del manejo integral de desechos sólidos



En cambio según Schleenstein Gerhard (2003), un buen sistema de la gestión esta dado por:

1. Generación de los R.S.U
2. Manipulación, Almacenamiento y Procesamiento de Residuos en el Origen
3. Recolección
4. Separación, Procesamiento y Transformación
5. Vertido

No obstante para propósitos de planeación, es conveniente considerar el proceso como un todo consistente en las siguientes 5 actividades básicas o etapas:

1. Generación
2. Recolección, manipulación y separación de los residuos en origen
 - a. Reducción
 - b. Reutilización
3. Almacenamiento y transporte
4. Transformación y procesamiento
5. Disposición final

Luego de evaluadas las diferentes alternativas que implican un buen manejo de los residuos, la mejor implica reducir desde la fuente, recoger y transportar adecuadamente, reciclar, reutilizar, transformar y/o destruir térmica o biológicamente y disponer finalmente en rellenos sanitarios.

Aunque cada alternativa califica por separado, la mejor alternativa es la aplicación de todas en un sistema integral de manejo de residuales sólidos, con las siguientes consideraciones:

Reducción: Implica reducir la cantidad de residuos producidos desde la misma fuente de generación. Con base en una concepción preventiva, la reducción de desechos busca disminuir la cantidad de desperdicios en general y controlar el tipo de materiales en ellos contenidos. (Ver Anexo II).

Recogida y transportación: La recolección de residuos según la Enciclopedia [2005] es, en términos generales, la manipulación de los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego su traslado hasta el sitio de disposición final o hasta la estación de transferencia.

Atendiendo al grado de especialización de los vehículos recolectores utilizados en la prestación del servicio los métodos de recolección pueden clasificarse en métodos

mecanizados, semimecanizados (normalmente se utilizan en localidades altamente urbanizadas) y métodos manuales (se efectúan con equipos no convencionales) que son más usuales en zonas deprimidas y de difícil acceso, así como en localidades eminentemente rurales (Martin, 2005).

Según el tipo de demanda por atender, existen dos métodos de recolección; para demandas de tipo continuo y semi-continuo y, para demandas de tipo discreto; se puede decir que un método de recolección está definido por el tipo de demanda exigida y por el grado de tecnificación de los equipos utilizados.

Es importante destacar, que el método empleado en la recolección es la parte medular del sistema de recolección de los RSU ya que el nivel de organización que guarden los métodos de recolección de un determinado sistema, será el indicador más representativo del nivel de servicio que se les oferta a los clientes.

Con respecto a los equipos de recolección y transporte primario, se sugiere que, siempre que sea factible (por las características físicas y poblacionales de la localidad), se empleen vehículos con carrocerías de gran capacidad, provistos de compactadoras para contribuir a la disminución de los costos de recolección.

No siempre es adecuado el uso de vehículos especializados para la recolección de los residuos sólidos ya que no en todos los casos la traza urbana brinda las facilidades de acceso, penetración, maniobrabilidad y pendiente, requeridas para la utilización y máximo aprovechamiento de estos vehículos. En muchos casos la utilización de unidades de las consideradas como "no convencionales", pueden dar mejores resultados tanto en costo como en rendimiento y eficiencia, que los obtenidos con el uso de unidades recolectoras especializadas.

Reciclaje: El mundo entero moderno se enfrenta a un problema cada vez más importante y grave: como deshacerse del volumen creciente de los residuos que genera.

La mayoría de los residuos terminan convirtiéndose en basura cuyo destino final es el vertedero o los rellenos sanitarios. Los vertederos y rellenos sanitarios son cada vez más escasos y plantean una serie de desventajas y problemas. En ello el reciclaje se convierte en una buena alternativa, ya que reduce los residuos, ahorra energía y protege el medio ambiente.

La meta de cualquier proceso de reciclaje es el uso o rehúso de materiales provenientes de residuos de importancia en el proceso de reciclaje es que el procedimiento comienza con una separación. Desde un punto de vista de eficiencia del rendimiento de estos

sistemas de separación favorece que se haga una separación en el origen (Marin,K, 2009).

Existen otros tratamientos que requieren diferentes tecnologías, entiéndase por ello una transformación que implique una alteración física, química y/o biológica de los desechos para dar una disposición final adecuada y óptima desde el punto de vista de la sostenibilidad.

1.7 Tratamientos de los residuos sólidos urbanos

El tratamiento es un proceso que modifica las características físicas, químicas o biológicas de los residuos, para aprovecharlos, estabilizarlos o reducir su volumen, antes de la disposición final. Cualquier tratamiento que se aplique involucra la recolección y clasificación y en dependencia de esto se pueden proponer diferentes alternativas como las que se refieren a continuación.

1.7.1 Tratamiento Biológico:

- Digestión anaeróbica
- Tratamiento aeróbico (compostaje).

Digestión anaerobia y compostaje son los tratamientos biológicos aplicables a la Fracción Orgánica de los Residuos Urbanos (FORSU) (Jonshon,2009). Los dos sistemas disminuyen la cantidad de residuos (en peso y volumen), su “actividad” y, además, la digestión anaerobia permite la obtención de energía.

- **Obtención de biogás:** El biogás es una mezcla de gases producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, que artificialmente se obtiene en biodigestores.

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70% (Patric,2002).

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 kWh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel (Monreal., 1998).

- **Compostaje:** En la mayoría de los países desarrollados, el tratamiento de los residuos orgánicos se está convirtiendo en una de las prácticas claves de la gestión moderna de residuos (Couso, 2008; Martín, L 2008 ;González, 2007; R. B. Williams, 2003). Es un material tipo "humus", bioquímicamente estable, constituido por materia orgánica, mineral y cerca de 40% de agua, y PH neutro o poco alcalino. Resulta de la descomposición aeróbica y anaeróbica. Del proceso aeróbico resulta la ventaja de la esterilización por el calor y del anaeróbico resulta un comportamiento más alcalino y de menor contenido de nitrato (Maldonado, 2003).

1.7.2 Tratamiento Térmico:

Algunas de estas tecnologías de transformación (Vinte, 2003) son:

- **Incineración:** Proceso de combustión controlado de los desechos sólidos que se usa ampliamente en numerosos países para reducir hasta en un 90% el volumen de residuos a través de diversos procesos térmicos controlados y bajo estrictos parámetros de emisiones (Ing Karin Santos Bonilla, 2009). No es un sistema completo de eliminación, pues genera cenizas, escorias y gases. Debe efectuarse en un horno especial para evitar la contaminación ambiental. Es recomendable en clínicas y hospitales para mantener un buen control sanitario. Puede o no implicar un aprovechamiento energético en dependencia del valor calórico de los residuales sólidos (Miño., 2003).
- **Gasificación y Pirólisis:** La pirólisis y la gasificación son dos formas de tratamiento térmico en las que los residuos se calientan a altas temperaturas con una cantidad de oxígeno limitada. El proceso se lleva a cabo en un contenedor sellado a alta presión. Convertir el material en energía es más eficiente que la incineración directa, se genera energía que puede recuperarse y usarse, mucha más que en la combustión simple (Kate.F, 2008).

La pirólisis de los residuos sólidos convierte el material en productos sólidos, líquidos y gaseosos. El aceite líquido y el gas pueden ser quemados para producir energía o refinado en otros productos. El residuo sólido puede ser refinado en otros productos como aceite activado (L.K, 2000).

La gasificación puede ser usada para convertir materiales orgánicos directamente en un gas sintético (syngas) formado por monóxido de carbono e hidrógeno. El gas se puede

quemar directamente para producir vapor o en un motor térmico para producir electricidad. La gasificación se emplea en centrales eléctricas de biomasa para producir la energía renovable y calor.

1.7.3 Disposición final:

Relleno sanitario: La disposición final de los RSU en rellenos sanitarios o vertederos es la práctica más común en el mundo. Es aplicable a pequeñas y grandes comunidades. Aunque normalmente se aplica a todo tipo de RSU debería implementarse solamente sobre aquellos residuos que no han podido ser tratados por métodos como el reciclaje, compostaje o recuperación (Colombia, 2002 ;Wehenpohl, 2002).

En la práctica se incluyen residuos peligrosos dentro de los rellenos sanitarios debido a que la mayoría de las instalaciones que manejan los mismos no cuentan con un tratamiento y disposición segura (Abu Qdais, 1997).

Es importante minimizar el flujo de RSU cuya disposición final es el relleno sanitario. Con este propósito es necesario promover técnicas de separación y recuperación de residuos, promover plantas de recuperación y reciclaje de residuos y desarrollar mercados para los productos recuperados o reciclados.

El relleno sanitario debe utilizar el menor lugar y ocasionar el menor impacto ambiental negativo posible. Las operaciones que se deben realizar periódicamente en un relleno sanitario son (Bocalandro, 2001; Merizalde Hoyos Juan C., 2003; Nora, 1998):

- Recepción de los residuos
- Disposición de los residuos
- Compactación de los residuos
- Recubrimiento con tierra
- Compactación

Dentro del relleno sanitario se produce una descomposición anaerobia (sin presencia de oxígeno), el gas metano y el dióxido de carbono son unos de los productos de esta descomposición, además las emisiones gaseosas contendrán compuestos orgánicos volátiles. Es por esto imprescindible el monitoreo ambiental del relleno.

1.8 Manejo de los RSU en Cuba.

La transformación y procesamiento puede llevarse a cabo por medio de una gran variedad de procesos químicos y biológicos, la elección de estos dependerá de los objetivos del sistema de gestión.

Numerosos autores cubanos han tratado el tema de la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos proponiendo alternativas de tratamiento con el objetivo de minimizar las tasas de generación y así contribuir al mejor desempeño ambiental. Así por ejemplo en el Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), Palacios–García y colaboradores (2007) realizaron un estudio sobre el manejo de RSU en la zona litoral de la bahía de la Habana con propuestas de soluciones tecnológicas viables para su manejo seguro que incluye una planta de selección y tratamiento para procesar la basura seca para su posterior reciclado y utilizando la fracción húmeda para la fabricación de compost (García, 2007).

En el año 2007 un colectivo de autores entre los que se destacan María del C. Espinosa Llorens, H. Álvarez, J.A. García y A. Fernández realizaron la caracterización de los RSU de diferentes rellenos sanitarios en Ciudad de La Habana (Ma. del C. Espinosa Llorens, 2007).

También en nuestra provincia se han realizado varias investigaciones con el objetivo de contribuir a perfeccionar la gestión de los RSU. Knudsen González & Gaitán Mesa (Gaitán Mesa, 2006) plantearon un nuevo diseño y gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de Santa Clara, con el objetivo de ofrecer a la población un mejor servicio, mejorar el entorno, cuidar el medio ambiente y disminuir los diferentes costos ocasionados en el desarrollo de esta actividad. Martínez Morales (Morales, 2007) en el año 2007 se propuso generalizar este procedimiento, el cual incluye además un conjunto de técnicas y procedimientos específicos, que facilitan la toma de decisiones e inciden en el desempeño normal de la prestación de este servicio, contribuyendo a la disminución del consumo de combustibles fósiles al lograr la reducción en la distancia a recorrer por el vehículo recolector. Así también, Domínguez Núñez (Núñez, 2009), en su tesis de Maestría propone una metodología que permita minimizar el deficiente manejo de los residuos sólidos urbanos existente actualmente en la Ciudad de Santa Clara, enfocado en buscar solución al mal manejo de estos residuales, priorizando el sistema de recolección y transportación de los mismos desde su origen hasta el lugar de disposición final.

De forma general, los estudios relacionados incluyen la recolección, tratamiento, transporte y disposición final, sin embargo en Cuba no se han tratado con fuerza los sistemas de gestión que involucren el tratamiento biológico y térmico de los mismos,

aspecto de vital importancia por ser esta una fuente de energía renovable que contribuiría por un lado a disminuir las cargas contaminantes en el vertedero y por otro lado se contabilizaría la energía generada como cargas evitadas (A.J, 2003). Es por ello que en este trabajo propondremos alternativas para el tratamiento de los RSU que contribuyan a la obtención de energía y a su aprovechamiento, específicamente en la Ciudad de Santa Clara.

La generación de RSU está íntimamente vinculada al desarrollo socioeconómico del país, como ya se ha venido expresando, por lo que el comportamiento de la cuantificación y caracterización ha tenido cambios en el tiempo, según puede observarse en la siguiente tabla.

Tabla 1.3: Progresión histórica de la composición de los RSU en Cuba

Componentes	Resultados obtenidos (%)				
	1969- 1973	1975- 1979	1980- 1983	1989- 1995	Villa Clara 2005
Materia Orgánica	50,7	47,2	37,3	48,8	67,12
Papel y Cartón	24,2	20,0	27,3	18,6	5,19
Plásticos	0,7	1,9	4,2	4,3	3,18
Metales	7,0	6,7	6,0	3,8	3,62
Vidrio	1,9	5,6	3,7	5,1	3,61
Desperdicios textiles	4,7	3,4	6,9	4,9	1,80
Madera	3,6	3,7	2,4	1,8	8,04
Goma	0,4	1,0	0,3	1,2	0,00
Huesos	0,5	0,7	0,6	1,1	0,32
Escombros	5,5	9,2	9,8	8,4	7,10
Cuero	0,8	1,6	1,5	2,0	0,02
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: (Núñez, 2009)

El sistema de gestión de los RSU comprende el almacenamiento, recogida y transportación, tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos.

1.8.1 Almacenamiento, Recogida y Transportación:

El almacenamiento, definido en la NC 133:2002 como la "acumulación de los residuos sólidos de una comunidad, en los lugares donde se producen los mismos o en los alrededores a estos, donde se mantienen hasta su posterior recolección"; en las áreas urbanas (hogares, centros de trabajo, escuelas, comercios, etc) se realiza de forma inadecuada, en la mayoría de los casos utilizándose recipientes de diferentes tipos y capacidades, lo cual debido a que en ocasiones existe una mala estrategia en la recogida o inestabilidad en los ciclos, produce la proliferación de micro vertederos, contaminando así el medio ambiente.

En centros asistenciales (policlínicos, hospitales, laboratorios y otros), los residuos sólidos resultantes de las curaciones, diagnósticos o rehabilitación que no son incinerados, son almacenados en la mayoría de los casos sin tratamiento alguno, y de forma mezclada.

La recogida y transporte de los RSU está establecida de forma general en todo el país, estimándose que existe una cobertura de recolección a nivel nacional en zonas urbanas de un 90%. La frecuencia de recolección en teoría es seis veces por semana, pero en la práctica las investigaciones realizadas reflejan que en el mejor de los casos es de tres veces por semana.

El transporte de los residuos se realiza mediante diferentes tipos y formas de vehículos que son principalmente vehículos compactadores de carga trasera, camiones abiertos y carretas de tracción mecánica y animal. Dados los problemas económicos del país a partir de 1990 se vio una disminución bastante considerable de la flota vehicular para el transporte de residuos, disminuyendo estos hasta en 30% del total que existía anteriormente, y a su vez incrementando el uso de vehículos tipo carreta, tanto de tracción mecanizada como animal, este último más generalizado en el país.

1.8.2 Reciclaje

La Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP), creada en el año 1961, se dedica a la recuperación, procesamiento y comercialización de los desechos sólidos reciclables en Cuba. Es una organización autofinanciada. Abarca todo el territorio nacional y comercializa para el mercado interno y externo. Entre 1981 y 1985 se consolida su actividad tecnológica y económica. La esencia del trabajo de la UERMP es convertir la recuperación en un fuerte proceso industrial, mediante un amplio programa inversionista que mejorará las tecnologías y surtidos a recuperar. Contempla la modernización y/o

introducción de tecnologías de punta y el montaje de nuevas plantas para el tratamiento de desechos no procesados hoy.

Las Casas de Reciclaje son tiendas de recuperación de materias primas y constituyen una red nacional extendida por todos los Municipios del país. La población acude a vender directamente, y sin límites de cantidades, objetos y piezas de chatarra ferrosa y no ferrosa. Acorde con los datos estadísticos el 63,6% de toda la chatarra no ferrosa se recupera a través de esa red de 12 tiendas, así como el 33,8 % del total de los envases de cristal y el 21,1% del papel y el cartón. A pesar de los esfuerzos realizados, aún la recogida de materias primas es baja debido a problemas organizativos y de equipamiento.

Los principales tratamientos aplicados a los RSU en Cuba son:

a) Alimentación de cerdos

Durante varios años y de forma tradicional se ha venido utilizando la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos para la alimentación de ganado porcino. Esta se realiza con residuos sin tratamiento previo, con lo cual existe el riesgo potencial de adquirir enfermedades como la triquinosis.

b) Uso de la lombricultura

Este tipo de tratamiento se ha llevado a cabo a nivel piloto con algunas experiencias positivas en cuanto a los resultados. Se empezó a desarrollar en los últimos años y consiste de forma general en acelerar la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos por medio de lombrices del tipo "roja californiana" y "africana", en condiciones físicas aceptables de temperatura y humedad, obteniendo como producto final un humus enriquecido, el cual puede sustituir parcialmente fertilizantes minerales en los cultivos de flores, viveros, áreas verdes y otros, así como garantizar una fertilización más racional y científicamente argumentada.

c) Metanización y Compost:

Recientemente fue inaugurada (octubre de 2008) la primera y única planta del país que produce energía eléctrica a partir del procesamiento de los RSU. Esta planta de biogás, situada en la Unidad de Higiene de Ciudad de La Habana, genera de manera estable 60 kW/h, con lo que abastece a dicho centro, perteneciente a la Dirección Provincial de Servicios Comunes. Además se producen cerca de 5 m³ de compost y alrededor de 60 litros de fertilizante nitrogenado semanalmente, destinados al fomento de las áreas verdes de la ciudad y a la reforestación de los vertederos.

d) La disposición final:

Se realiza en los vertederos o rellenos sanitarios, de forma tal que los productos no presenten riesgos para la salud ni para los componentes de los ecosistemas.

Hoy más que antes, existe en Cuba una creciente preocupación por reducir los daños ambientales que producen los vertederos o los rellenos sanitarios y se ha hecho cada vez más difícil seleccionar y decidir sobre los sitios donde disponer de los residuos de manera segura (Ambientales, 2002).

Existen 1014 vertederos, de ellos 674 presentan el sistema de tratamiento a través de Rellenos Sanitario, lo que representa el 66.46% del total, dándole tratamiento sanitario al 92.7% del residual dispuesto en los mismos, es decir a 23 162.3 Mm³ aproximadamente.

Los residuos sólidos son enterrados sin un debido tratamiento de los lixiviados y sin recolección de los gases emitidos por la descomposición de los residuos orgánicos.

Los vertederos a lo largo del país no presentan una situación favorable, pues debe entenderse que cuando la recogida se realiza en carros de caballos, la disposición final no puede ser muy lejana de las localidades y ahí comienzan los problemas higiénico-sanitarios. Entre las dificultades más acuciantes sobresalen:

- Tecnología inapropiada para la recolección y el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos.
- Insuficiente cantidad de colectores donde depositar la basura.
- La inexistencia de selección primaria por parte del consumidor, ni la infraestructura necesaria para ello, y la falta de educación de la población.
- Falta de financiamiento para el cambio de las tecnologías de recogida y disposición final.
- Falta de tecnologías de punta para la selección y separación de los RSU y bajo aprovechamiento de las potencialidades económicas de los RSU.
- Los residuos sólidos hospitalarios constituyen una fuerte problemática, pues en muchos casos se incorporan a los vertederos sin haber sido seleccionados previamente, y sin tomar en todos los casos las medidas higiénico - sanitarias correspondientes.

1.9 Marco Legislativo vigente en Cuba

Existe un grupo de legislaciones, fundamentalmente del Ministerio de Salud Pública, relacionadas con la higiene y el ornato, y sus contravenciones cuya aplicación es insuficiente. Existen igualmente Resoluciones de ese Ministerio y del de Economía y Planificación, normando aspectos relacionados con el manejo de los residuos Sólidos

Urbanos (Ver Anexo III). El CITMA cuenta en la Ley 81 del Medio Ambiente con capítulos dirigidos al Manejo de los Desechos Peligrosos y Productos Químico - Tóxicos, así como un Título dirigido hacia los Servicios Públicos Esenciales donde se aborda la recogida de los desechos sólidos y su disposición final en vertederos; y existe una Resolución Ministerial a tono con el cumplimiento del Convenio de Basilea y el manejo y disposición final de los desechos peligrosos (Lismart, 2008).

Existen 3 Normas Cubanas (NC 133:2002, NC 134:2002, NC 135:2002) relacionadas con el almacenamiento, recolección, transportación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos; requisitos higiénicos sanitarios y ambientales. Además la NC 530:2007 relacionada con el manejo de los residuos sólidos de las instituciones de salud y los requisitos higiénico - sanitarios y ambientales (NC, 2007) (NC, 2002)

La Constitución de la República de Cuba del 24.02.1976 y su modificación del 10.10.1992 postula en el artículo 27 tanto la misión del estado de proteger el medio ambiente como el deber de los ciudadanos contribuir a la protección. Adicionalmente, reconoce el concepto de desarrollo sostenible “para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras”.

La Estrategia Ambiental Nacional (1997) es la expresión de la política ambiental cubana, en la cual se plasman sus proyecciones y directrices principales. Dos de los cinco principales problemas ambientales se relacionan con los Residuos Sólidos:

- Deterioro del saneamiento y las condiciones ambientales en asentamientos humanos.
- Contaminación de las aguas terrestres y marinas.

Adicionalmente se proponen los siguientes nuevos métodos para convertirlos en una herramienta de trabajo de la gestión ambiental nacional:

- Los Convenios de Concertación y Coordinación de Acciones para la Gestión Ambiental.
- Los Acuerdos Voluntarios para la mejor protección ambiental.
- Los Códigos de Conducta Ambiental.
- La conformación de un Sistema Nacional Estatal Integrado de Vigilancia del medio ambiente.

Esta propia estrategia hace énfasis en que “las Autoridades Ambientales deben crear además diversas modalidades de incentivos sociales para las personas y entidades que

se distingan en las acciones de protección del medio ambiente y uso sostenible de los recursos naturales” (Patricio, 1997).

La Estrategia Ambiental Nacional requiere para su materialización de determinados instrumentos. Uno de ellos es el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo que constituye la proyección concreta de la política ambiental de Cuba, aprobada por el gobierno en 1993, que contiene lineamientos para la acción de los que intervienen en la protección del medio ambiente. Este documento constituye la adecuación cubana a la Agenda 21. Dos de sus 32 capítulos se refieren a la gestión racional de los desechos sólidos y a la gestión racional de los desechos peligrosos.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), en su condición de Organismo de la Administración Central del Estado rector de la política ambiental, es el encargado de desarrollar la estrategia y concertar las acciones encaminadas a mantener los logros ambientales alcanzados y contribuir a superar las insuficiencias existentes, garantizando que los aspectos ambientales sean tomados en cuenta en las políticas, programas y planes de desarrollo a todos los niveles (Miguel,D, 1997).

La Estrategia Ambiental de la Provincia de Villa Clara identifica 7 problemas ambientales que afectan a la ciudad, entre los cuales esta el inadecuado manejo de los RSU y el manejo de los residuos hospitalarios, mientras que la Estrategia Ambiental de la Provincia Holguín no menciona el tema (Cusco, 1998; MEP, 2007).

Conclusiones Parciales

1. Los Sistemas de Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos deben contemplar la minimización de la generación, la clasificación en el origen, reciclaje y tratamiento.
2. En los países desarrollados el índice de generación del papel, cartón y el vidrio es alto, mientras que en los países en vías de desarrollo la tendencia de generación alta es en la materia orgánica.
3. En el mundo desarrollado la clasificación de los residuos sólidos se realiza desde el origen y el tratamiento más difundido en la actualidad es la incineración y el relleno sanitario, aunque se están llevando a cabo estudios para la gasificación de los residuos con aprovechamiento energético, mientras que en los países en vías de desarrollo el tratamiento utilizado es la disposición final en vertederos a cielo abierto.
4. En Cuba a pesar de que existen normas y leyes que rigen el manejo de los RSU, no se han tratado con fuerza sistemas de gestión que involucren tratamientos biológicos (plantas biogás, composta) y térmicos (incineración, gasificación), siendo este un aspecto de vital importancia ya que los residuos representan una fuente de energía renovable. Otro aspecto importante es el uso de adecuados rellenos sanitarios para la disposición controlada de estos residuos, contribuyendo así a disminuir las cargas contaminantes al ecosistema.

CAPITULO II. DIAGNOSTICO ACTUAL DEL SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE SANTA CLARA.

2.1 Caracterización Económico-Geográfica de la Ciudad de Santa Clara.

Santa Clara, situada en el municipio del mismo nombre, en la provincia de Villa Clara, Cuba. Con una extensión superficial de 40,6 Km² y posición aproximada dada por el punto de confluencia de las coordenadas geográficas 22°.03'.00" de latitud Norte y 79°.57'.00" longitud Oeste, posee una temperatura media de 23.96 °C y una precipitación de 1311 mm, la humedad relativa estriba alrededor del 81.2%. (Informe de Datos Meteorológicos del Municipio de Santa Clara 2009). De las urbes cubanas, Santa Clara, está considerada entre las de mejores resultados higiénico-sanitarios, por lo que ha recibido numerosos reconocimientos de carácter nacional, no obstante los problemas económicos enfrentados por el país y con ello la falta de recursos técnico-materiales han provocado problemas que es preciso enfrentar (VC, 2003).

La población del municipio de Santa Clara es de 237 973 personas, de estas solamente la ciudad cabecera posee 219 660 habitantes (Publicación N°. 35 (2006), para un 92,3 % del total del municipio, el 26,9 % de la provincia de Villa Clara y el 1,9% de Cuba. Posee una tasa de crecimiento anual de 2.65 por mil habitantes. Se caracteriza por contar con una esperanza de vida de las más altas del país (78.20 años, siendo 76.49 años para los hombres y 80.03 para las mujeres) y acogiendo diariamente una población flotante numerosa, por ser un centro de servicio indiscutible en el territorio (Estadística, 2008).

La Densidad de Población de Villa Clara es de 96.7 Habitantes por Km², y Santa Clara es el de mayor índice con 459.8.hab./ Km².

2.2 Descripción del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Ciudad Santa Clara.

El Departamento de Higiene de la Dirección Municipal de Servicios Comunes se encarga del barrido y recolección de la "basura" de las vías públicas mediante brigadas que atienden los diferentes distritos de la ciudad, así como de la disposición final de los residuos sólidos.

La cobertura de servicio es del 96 % con una frecuencia de recolección diaria para el casco central y en el resto de las zonas interdiaria. La totalidad de los residuos que se generan son llevados a vertederos donde son vertidos de manera mezclada, no se

recuperan los lixiviados y no se capta el biogás. El esquema utilizado está basado en el método simplificado: almacenamiento, recolección, transportación y disposición final bajo condiciones parcialmente controladas.

Almacenamiento

En la ciudad no existen suficientes contenedores para la recepción de los desechos sólidos en las diferentes zonas, lo que se agrava en las zonas de edificios multifamiliares. El almacenamiento de los residuos sólidos por parte de la población, comercios e instituciones educacionales se efectúa en condiciones inadecuadas, con el uso de diferentes depósitos que no cumplen con las normas establecidas para ello. Se utilizan además 145 instalaciones alternativas denominadas supiaderos, que son construcciones de bloques de 5 m³, para la recepción de los desechos, ubicados en diferentes puntos, fundamentalmente en las áreas de los edificios multifamiliares. Ellos solucionan un problema, pero a la vez introducen otros, por la acumulación de desechos con sus correspondientes malos olores y desarrollo de vectores. El acopio o almacenamiento se realiza sin segregación alguna, mezclando todos los residuales que se generan, sin el cumplimiento del horario prefijado para la recogida, siendo la situación más crítica en el Consejo Popular Centro (2005-2006).

En las áreas urbanas se depositan, además, los escombros derivados de las construcciones y podas particulares creándose micro vertederos ilegales lo que se agudiza en los cauces de los ríos y cañadas que atraviesan o circunvalan la ciudad.

El mal manejo del almacenamiento de los residuos sólidos urbanos ha propiciado la aparición de pepenadores o Buzos, que están íntimamente asociados con los actuales sistemas de manejo de basura, actúan en los tiraderos, en los camiones de recolección y en los depósitos y contenedores ubicados en la ciudad. Aunque es una actividad ilegal, es indiscutible que se realiza en condiciones de total insalubridad.

Recolección RSU.

Para facilitar el servicio de recolección de RSU la ciudad se ha dividido en diez zonas comunales y 19 Consejos Populares como se muestra en la Tabla 2.1. Para esto se tomó como criterio el número de habitantes en cada una de ellas y la cantidad de RSU generados. La recolección se realiza con una frecuencia de cuatro veces a la semana, exceptuando la Zona Centro, y la Zona Hospitalaria, en las cuales se debe prestar el servicio diario en jornadas diurna y nocturna.

No todos los vehículos utilizados para este servicio poseen condiciones idóneas, no obstante, la recogida se realiza al 96% de la población urbana, los comercios, escuelas, entidades de salud y otras, pero sin segregación, pues no se cuenta con la infraestructura necesaria para ello.

En estas zonas comunales a través de los Departamentos de Higiene y Áreas Verdes se prestan los servicios de:

- Limpieza de vías y áreas públicas.
- Recogida y transportación de desechos sólidos.
- Atención a las áreas verdes y cuidado de parques.
- Disposición final

Tabla 2.1: Zonas para el Servicio de Comunales Santa Clara

Zonas Comunales	CONSEJOS POPULARES QUE ATIENDE
Zona 1	Centro
Zona 2	Camacho – Libertad , Hatillo - Yabú y Base Aérea
Zona 3	Capíro - Santa Catalina – Camilo Cienfuegos - Universidad
Zona 4	Vigía – Sandino y Manajanabo
Zona 5	Hospital – Chambery y Sakenaf
Zona 6	Condado Norte y Sur
Zona 7	Virginia - José Martí - Anton Díaz
Zona 8	Abel Santa María
Zona 9	Escambray y Manajanabo
Zona 10	Circunvalante

Fuente: Departamento de Higiene. Dirección Municipal de Servicios Comunales

Los métodos de recolección empleados son:

- Método de Esquina o de Parada Fija
- Método de Acera
- Método de Contenedores o supiaderos.

En la tabla que aparece a continuación se resume el tipo de residuo recolectado y la forma de recolección empleada en la ciudad de Santa Clara.

Tabla 2.2: Formas de Recolección en Santa Clara

Tipo de Basura	Forma de recolección
Doméstica	El cliente es quien deposita la basura en bolsas u otros recipientes en las aceras, contenedores o supiaderos.
De pequeños establecimientos comerciales e industriales	Estos salen en el sistema de recogida de la basura doméstica, aunque hay establecimientos que los depositan directamente en el vertedero, por sus propios medios.
Residuos de grandes industrias	Son trasladados por las propias industrias al vertedero municipal.
Animales muertos	Son recogidos por los barrenderos y trasladados en los carritos pikers sin ninguna prevención sanitaria hasta el lugar de acopio del barrido.
Residuos hospitalarios	Son recogidos sin ninguna condición de seguridad biológica, al no existir la segregación inicial que se exige para estos casos. Son recogidos en el horario de la madrugada por un carro especializado y trasladados a una trinchera de seguridad en el vertedero municipal.
Residuos Voluminosos	No existe sistema para la recogida de los mismos, se recogen junto con la basura domiciliaria.
Escombros	Por legislación cuando un cliente hace un contrato de reparación o construcción de vivienda, queda incluido en el mismo, darle disposición a los residuales generados por sus propios medios, aunque en muchas ocasiones se dejan expuestos hasta que pueden ser recogidos por los trabajadores de comunales.
Residuos peligrosos domésticos	El cliente los deposita en la calle, contenedores o supiaderos, mezclados con el resto de los residuos.

Fuente: Departamento de Higiene Dirección Municipal de Servicios Comunales

Todo el residual recolectado es dispuesto en el vertedero municipal, exceptuando el que se recoge en parte de 5 zonas comunales, que por ser transportado en carretones de tracción animal, es vertido en el vertedero de Vegas Nuevas, ubicado en un área más cercana al perímetro urbano y cuyo volumen de disposición diario asciende aproximadamente a 300m³ los cuales no se incluyen en este estudio.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de residuos sólidos urbanos generados por sectores que son dispuestos en el vertedero municipal.

Tabla 2.3: Generación de RSU por sectores

Productores de residuos	Distribución %	m ³ Diarios
Domiciliarios	83	913,0
Hospitalarios	0,1	2,0
Industrial	16,9	185,0
Total	100,0	1100,0

Fuente. Informe GEO de Planificación Física V.C

Cada Sector genera una amplia gama de residuos los que por su composición y variedad pueden ser clasificados de acuerdo a la fuente que los genera, como se aprecia en la tabla a continuación.

Tabla 2.4: Clasificación de los Residuos Sólidos según la fuente.

Fuente	Instalaciones	Tipo de residuo
Doméstica	Viviendas, edificios multifamiliares	Restos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas de árboles y plantas, pilas, baterías, neumáticos, residuos domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos peligrosos, etc.
Institucional	Escuelas, hospitales, centros gubernamentales	Idem al comercial
Construcción y demolición	Lugares en construcción, reparación o renovación, reparación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos, etc.	Madera, acero, hormigón, suciedad, etc.
Servicios Municipales	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de parques y otras zonas, etc.	Basura, barredura de la calle, recortes de árboles y plantas,
Residuos sólidos urbanos	Todos los citados	Todos los citados

Fuente: (Núñez., 2009)

Transportación.

La transportación de los residuos se realiza mediante diferentes tipos y formas de vehículos que son principalmente vehículos compactadores de carga trasera, camiones abiertos y carretas de tracción mecánica y animal. A partir de 1990 se ha visto una disminución del parque automotor de transporte de residuos, y a su vez se ha incrementado el uso de la carreta con tractor y con tracción animal, este último más generalizado en el resto de la provincia.

Todos los vehículos consumen combustible diesel (la cantidad mensual no rebasa los 740 L) y están destinados para la recogida de aproximadamente 1100 m³ diarios en los Consejos Centro, Chambery, Abel Santamaría, Hospital, Condado Sur, José Martí, Vigía Sandino, Virginia, Condado Norte, Capiro - Santa Catalina, Camacho Libertad y los Hospitales.

Son contratados, aproximadamente 95 carretones con una capacidad de 2m³ cada uno, los que realizan la recogida diaria en los Consejos Populares: José Martí, Chambery, Condado Norte, Virginia, Camacho Libertad, Hospital y Condado Sur.

Tabla 2.5: Tipos de Transportes utilizados en el servicio de Recolección.

Tipo de transporte	Cantidad	Viajes	Cap (m ³)	Total (m ³)	Total (t/km)
Carro especializado Chino	3	3	60	540	889.65
Carros especializados	2	3	40	240	395.4
Carros Abiertos	10	3	7	210	345.97
Carretas	2	2	12	48	79.08
Carretas especializadas	2	2	16	64	105.4
Total	19	13	135	1102	1812.26

Fuente: Departamento de Higiene. Dirección Municipal de Servicios Comunes

Disposición Final.

La disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el municipio de Santa Clara se realiza en 5 vertederos. De ellos uno convencional mecanizado conocido como **Vertedero Municipal** y cuatro vertederos a cielo abierto, con tratamiento parcial por la falta de equipamiento: **Vegas Nuevas**, que trata aproximadamente 300m³ de residuos sólidos urbanos, recogidos en carretones y carretas, destinado a desaparecer a medida

que se vaya recuperando la situación del transporte automotor de la recogida de los desechos sólidos en el municipio; **Crucero de Vila, Manajanabo y Hatillo**, que responden a los intereses de diferentes poblados del propio municipio de Santa Clara.

2.3 Manejo de los Residuos Hospitalarios

En Santa Clara existen 7 áreas de salud con sus policlínicos de Nuevo Tipo, 7 hospitales, 3 clínicas estomatológicas, un sanatorio del SIDA y un banco de sangre. La forma del manejo de sus residuales sólidos ha sido tan variable como el tamaño y las características de las diferentes unidades. En estas entidades los desechos de laboratorios, de anatomía patológica y de salones de operación, generalmente son tratados en autoclaves o por inactivación química antes de su disposición final. Este proceso tiene en ocasiones dificultades por rotura de los equipos, trayendo consigo inestabilidad en el tratamiento por este concepto.

Los residuos sólidos peligrosos (tratados o no) son llevados a un supiadero dentro de la misma entidad, mezclándose con los no peligrosos, para ser llevados luego al vertedero. Normalmente los materiales de curaciones de salas de guardia, enfermerías y otros van mezclados con los desechos comunes sin tratamiento previo. De forma general, existe un mal manejo de los Residuos Sólidos Hospitalarios, no se aplica la normativa legal vigente en Cuba (NC 530: 2007) (Álvarez, 1975) donde se determinan las especificaciones para el manejo efectivo de los desechos hospitalarios, a pesar de constituir esto un riesgo biológico para la población y un foco de contaminación ambiental al ser realizada su recogida y traslado por los trabajadores de Comunales en condiciones inadecuadas. Incide en ello la falta de depósitos apropiados, una deficiente cultura urbano-ambiental sobre los riesgos sanitarios que implica la incorrecta manipulación y almacenamiento de los mismos, así como la insuficiente cantidad de inspectores facultados para monitorear y exigir la aplicación de la legislación vigente.

2.4 Caracterización del Vertedero Municipal

El Vertedero Municipal se encuentra ubicado en las coordenadas 22⁰.03'.00" de latitud Norte y 79⁰.57'.00" de longitud oeste al suroeste de la ciudad, a 2km aproximadamente del límite urbano más cercano, su acceso principal es la carretera a Manicaragua con un recorrido aproximado de 3 km y la distancia media a las zonas comunales es de 15,33km. La región en que se asienta el vertedero se caracteriza por un clima de carácter cálido condicionado por la recepción de altos valores de radiación solar durante todo el año con 7.33 horas luz como promedio. Las temperaturas son generalmente altas, los valores

medios anuales van desde los 20.85°C hasta 26.4°C y más. El elemento que más varía son las precipitaciones. En la mayor parte del territorio se reconocen 2 temporadas fundamentales: lluviosa (de mayo a octubre) y poco lluviosa (de noviembre a abril). El mes más lluvioso es junio con un promedio de 231mm y el más seco es diciembre con 31mm. La humedad relativa media es alta, con promedios cercanos al 82%. Los máximos diarios, generalmente superiores al 90%, ocurren a la salida del sol, mientras que los mínimos descienden, al mediodía, hasta 50 % y 60 %.

En la Tabla que aparece a continuación, se muestran algunos datos de interés de la entidad.

Tabla 2.6: Datos del Vertedero Municipal. Santa Clara.

Área del vertedero	25 ha.
Población total Ciudad de Santa Clara	220 271 hab.
Población con servicio recogida RS	211 460 hab.
Residual que trata el vertedero	1100 m ³
Años de explotación del vertedero	39 años
Cantidad de Residuos depositados hasta la fecha (según datos estadísticos de la fuente)	10 492 169 m ³

Fuente: Servicios Comunes. Villa Clara.

2.4.1 Condiciones Sanitarias del Vertedero

Es del tipo Relleno Sanitario Convencional Mecanizado, con tratamiento diario, aunque la baja disponibilidad de equipamiento propio y el déficit de combustible hacen que se incumpla este ciclo, alargándose a períodos de una semana o más, permaneciendo los residuos dispuestos a cielo abierto todo este tiempo, trayendo consigo la aparición de moscas, vectores, malos olores, así como la presencia de los llamados buzos, que son personas ajenas a esta actividad, las cuales se dedican a su recolección de manera ilegal, para luego venderlos en las casas de cambio creadas por Materia Prima con el fin de reciclarlos o recuperarlos.

En ocasiones se producen incendios accidentales provocando la combustión de la basura depositada, en su mayoría plásticos, textiles, papeles, etc, y tanto los gases como el humo emitidos pueden afectar a las poblaciones aledañas.

Se realizó el monitoreo de contaminantes atmosféricos en áreas del Vertedero, con fecha 18 de marzo del 2009, seleccionando tres puntos de muestreo en los cuales se tomaron muestras puntuales de 10 minutos. Las muestras fueron tomadas y analizadas con equipo

Multiwarn II de la firma alemana Draeger para la determinación de estos contaminantes en aire ambiente, que utiliza 3 sensores electroquímicos (SO_2 , NO_x , SH_2), un sensor IR (hidrocarburos) y un sensor Cat Ex (BTX). (Ver Anexo 3).

Los datos meteorológicos se determinaron in situ con equipo SKYWATCH de la firma suiza JDC Electronic de medición de velocidad y dirección del viento, humedad relativa, presión barométrica y temperatura ambiente. En los puntos evaluados se determinó la concentración media instantánea (20 minutos) para comparar con los niveles establecidos en la NC 39:1999 (concentraciones máximas admisibles de sustancias contaminantes del aire para zonas habitables) (OMS/OPS, 2004)

Se aprecia que los niveles puntuales medios y máximos de concentración de H_2S en los tres puntos no cumplen con la norma establecida para aire de zona habitable, para las condiciones meteorológicas dadas. Los niveles máximos encontrados de NO_x resultan también superiores al valor establecido para este contaminante en el aire ambiente de puntos habitados, según norma cubana, por lo que el aire ambiente en el vertedero y en la zona de la Comunidad conocida como Caracatey, la más aledaña al mismo, se encuentra contaminado.

2.5 Clasificación de los RSU de la ciudad de Santa Clara.

Según estudio realizado en el año 2005 por la Dirección Municipal de Servicios Comunales de Santa Clara a 200 viviendas con un total de 796 habitantes, sobre la cantidad y tipo de residuo sólido generado, con una frecuencia de 3 veces a la semana durante 3 meses, se logró la clasificación de los residuos generados y se calculó la densidad de la basura y el índice de generación poblacional. Estos datos fueron utilizados como base para la realización de la investigación, permitiendo su extrapolación a la ciudad de Santa Clara con un total de 211 460 habitantes con servicio de recogida de RSU.

La cantidad y composición de los residuos generados en la población servida, la cual representa el 96 % del total de habitantes aparece en la tabla que se muestra a continuación en la cual se registran los residuos sólidos generados en un día en ciudad Santa Clara.

Tabla 2.7: Composición y Cantidad de los residuos generados en Santa Clara.

No.	COMPONENTES	Población estudiada con 796 hab.	Ciudad con Servicio recogida (211460 hab.)	Residuo recolectados Santa Clara Por tipo.
		kg / día	kg / día	%
1	Papel y Cartón	25.62	6806.03	6.48
2	Aluminio	15.36	4080.43	2.88
3	Cobre	1.34	355.97	0,31
4	Hierro	10,44	2773.42	2,85
5	Textil	16,70	4436.40	4.87
6	Plástico	16,12	4282.33	3,43
7	Vidrio	40,53	10766.92	7.52
8	Nylon	1.56	414.41	0,39
9	Materia orgánica (rápida descomposición)	97,42	25879.94	21.17
10	Materia orgánica (lenta descomposición)	194,97	51794.41	44.19
11	Madera	25,38	6742.27	5,91
TOTAL		445.44	118 332.53	100

Fuente. Dirección Provincial de Comunes Villa Clara

Índice de generación (IG= Cant RSU/Cant de habitantes= 0.56kg/hab/día)

Volumen (V)= 1100m³

Densidad RSU (P)= 107.7kg/ m³

Tabla 2.8: Resumen de Costos del Sistema de Gestión Actual de la Ciudad de Santa Clara 2008.

Indicadores económicos	Recogida de desechos sólidos (\$)	Disposición final de la basura (\$)
Combustible	135300.36	11526.18
Materias primas y materiales	4895.93	1014.08
Mano de obra	2577425.9	322361.2
Mantenimiento y reparación	72103.9	5399.02
Suministros	225693.5	3187.16
Depreciación	2542.56	2029.40
Seguros	281027.3	56012.32
Impuestos	677300.09	81075.84
Servicios contratados	679179.13	795332.02
Total	4655468.76	1277937.22
Total General	5933405.01	

Fuente: Dirección Municipal de Comunes Villa Clara. Dpto. Economía y Contabilidad

Combustible:(Diesel)

Mano de obra:(correspondiente a 320 trabajadores que incluye recogida y disposición final)

Mantenimiento y reparación: (reparación de vehículos, maquinarias y equipos)

Suministros:(Alimentos, lubricantes, papel, artículos de limpieza, aseo personal, útiles, herramientas, otros)

Seguros:(Seguridad social, contribución a la Seguridad social)

Impuestos:(Por utilización de fuerza de trabajo de unidades presupuestadas y transporte terrestre)

Servicios contratados:(Camiones, carretones y personal para recogida y disposición final)

Conclusiones Parciales

1. Analizando la caracterización realizada en el muestreo de la población a la Ciudad de Santa Clara y comparándola con las caracterizaciones estudiadas en el Capítulo I, se corroboró que en Cuba, como en otros países de Latinoamérica, los elementos predominantes son los residuos sólidos orgánicos.
2. La Empresa Provincial de Servicios Comunes solo brinda servicio de recogida al 96% de la población de la Ciudad de Santa Clara, lo cual trae consigo el aumento de micro vertederos y agravación del problema ambiental.
3. El sistema de gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Santa Clara no se adecua a las necesidades existentes de la población, la recogida en la mayoría de las zonas se realiza en carros no especializados (camiones convencionales, carretas y carretones), lo que trae consigo el esparcimiento de desechos y otros contaminantes que afectan a las personas y al medio, los residuos son llevados directamente a los vertederos los cuales no cumplen con las normas establecidas para la disposición final de la basura mezclada.

Capítulo III: Análisis de Alternativas para la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Santa Clara.

3.1 Generalidades

En este capítulo a partir de la caracterización realizada por la Dirección Provincial de Servicios Comunes para la ciudad de Santa Clara por el Método de Cuarteo se realiza el análisis de las diferentes alternativas que pueden ser utilizadas en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santa Clara, evaluándose los costos para cada inversión asociada a la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.

3.2 Alternativa 1

Propone la **Recogida Selectiva** de los RSU (Clasificación en el origen), pretendiendo aprovechar la fracción recuperable de los Residuos Sólidos Urbanos mediante la **Clasificación** (Planta de transferencia) y construcción de un **Relleno Sanitario**. Reciclar los residuos con potencial comercializable y disminuir así la disposición directa en el nuevo Relleno Sanitario.

El proceso planteado consistiría en las siguientes etapas: en primer lugar los residuos sólidos urbanos recolectados serían transportados por medio de camiones especializados a una Planta de Transferencia, donde serían descargados para la selección de los materiales reciclables y su posterior comercialización. La parte restante será llevada al Relleno sanitario (Ver Anexo IV).

Tabla 3.1 Escenario A1

Escenario	A1
Recuperación de Papel y cartón (kg/día)	6806.03
Recuperación de Aluminio (kg/día)	4080.43
Recuperación de Cobre (kg/día)	355.97
Recuperación de Hierro (kg/día)	2773.42
Recuperación de Plástico (kg/día)	4282.33
Recuperación de Vidrio (kg/día)	10766.92
Creación de puestos de trabajo (u)	155
Al Relleno Sanitario (kg/día)	89267.43
Terreno utilizado Relleno Sanitario (ha)	19

Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Recogida Selectiva

En el Sistema de Gestión Actual no se realiza recogida selectiva, pero esto se modifica de acuerdo a las propuestas de reciclaje de residuos inorgánicos. Se considera que la recogida selectiva termina cuando los posibles materiales a recuperar se depositan en la planta de transferencia y los orgánicos en el relleno sanitario. El papel y cartón, aluminio, cobre, hierro, plástico así como el vidrio se comercializarían. Para llevar a cabo esta fase de la gestión se propone la ubicación de contenedores para la pre-clasificación de la basura separados en un orden de cinco colores distintos, de los cuales por lo menos tres de ellos deben cumplir con los reglamentos establecidos internacionalmente (Ver Anexo V). Estos “Puntos Limpios” estarán ubicados en partes estratégicas de la ciudad en donde se considere que la afluencia de basura sea mayor que en otros sectores. No se requerirá la adquisición de ningún terreno en particular para la disposición de estos puntos, ya que podrán ser colocados en las adyacencias de las aceras, calles y avenidas, procurando que los mismos no interfieran de ningún modo en las actividades cotidianas de las personas. (Paso de los transeúntes, salidas de emergencia, entradas de establecimientos, entre otros). Para este fin se deberá hacer una inversión de 6 carros especializados para completar el servicio de recogida actual (solo cuenta con 3), 530 conjuntos de 5 contenedores cada uno y 1125000 bolsas de nylon (15 mensuales por vivienda), partiendo de un aproximado de 75 mil viviendas (VC, 2008). Además de la implementación de programas comunitarios educativos con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las normas establecidas para este tipo de recogida.

Materiales y equipos necesarios para la recogida selectiva

1. Bolsas de nylon
2. Contenedores especializados de diferentes colores.
3. Carros Especializados

3.2.2 Planta de Transferencia

Sitio donde se separa, acopia y acondiciona para su venta todos los componentes de la basura con valor en el mercado (metales, vidrios, cartón, papel y algún tipo de plástico) para su posterior reciclado en plantas industriales. Los principales aspectos positivos de esta recuperación radica en la reducción del volumen de los RSU al ser dispuestos, alargando la vida del relleno sanitario, se reducen los impactos adversos de la actividad

extractiva (metales, vidrio y plásticos), de la tala de árboles (papel y cartón) y de los procesos industriales ulteriores. Por otro lado brinda oportunidades de empleo y reduce el número de segregadores informales existentes (buzos; sin ningún tipo de regulación) que trabajan en el vertedero o en las rutas de recolección y que arraigan profundos problemas de orden social, además de originar distorsiones desde todo punto de vista inaceptable, como son: empleo en condiciones inadmisibles de seguridad social, sanitaria y laboral, contaminación ambiental debido a que los materiales de rechazo son quemados o vertidos sin control alguno, aumento de los riesgos de deterioro de la salud pública al comercializar productos recuperados de dudosa procedencia. Se selecciona Tecnología DEISA 2003 con capacidad de 40 t/turno. Se podrá planificar que la planta trabaje las 24 horas con 3 turnos de 8 horas.

3.2.2.1 Principales etapas y equipos necesarios en el proceso

1. Pesaje de Residuos (Balanza de plataforma para camiones)
2. Recepción (Tolva de recepción)
3. Transportación de residuos (Cinta de elevación CE 16100)
4. Rotura de bolsas (Desgarrador de bolsas DM 100)
5. Clasificación (Cinta de clasificación CP 15100 sobre estructura elevada)
6. Separación de materiales ferrosos (Separador magnético SM 80)
7. Distribución de material clasificado (Carros volcadores plataforma y contenedores)
8. Prensado o compactado (Prensa compactadora vertical para plástico, papel y cartón)
9. Prensado o compactado (Prensa compactadora de aluminio y hierro)
10. Trituración de vidrios (Trituradora de vidrio)

Tabla 3.2 Precios de productos. Compradores.

No	Productos	Precios \$/t	Empresas	Venta Anual (t)
1	Papel y cartón	440	Rene Bebia (MINBAS)	2484.2
2	Aluminio	1000	ALCUBA	1489.4
3	Cobre	4500	DESEQUIP	129.9
4	Hierro	30	Antillana de Acero	405.0
			Laminador Tunas	607.3
5	Plástico	828	Ind Locales Poder Popular VC	1200
			ERM Cienfuegos	358.8
6	Vidrio	1215	Cuna 9 (MINAZ)	629.9
			Planta de Tratamiento	3000
			Fábrica de vidrio de La Lisa. Habana	300
Total				10604.5

Fuente: Listado Oficial de Precios Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP) 2009

3.2.3 Relleno Sanitario

Para este proceso se requiere que los residuos sean llevados a un predio grande el cual posee una membrana impermeable llamada geomembrana, un sistema de captura de gases y venteo o liberación a la atmósfera de los gases producidos por la descomposición de los residuos (dióxido de carbono, metano, amoníaco, etc) y un sistema de captura y tratamiento de lixiviados (líquidos generados por la descomposición de los residuos). Se van depositando los residuos que llegan al relleno con máquinas topadoras y compactadoras, luego se los cubre con tierra. Se van depositando en celdas y cuando se llega a capacidad máxima se cierra esa celda y se abre otra. También es necesario evitar por medio de canales y drenajes que el agua de lluvia ingrese al relleno sanitario. Una vez cerrada una celda se deberá controlar y supervisar hasta 50 años después del cierre del relleno (Peñaloza, 2005). Se propone construir el relleno en el mismo lugar donde se encuentra el vertedero municipal actual (al suroeste de la ciudad, a 2 km aproximadamente del límite urbano más cercano, su acceso principal es la carretera a

Manicaragua). El costo de inversión del relleno sanitario ha sido estimado a partir de datos actualizados 2007 (Peñaloza, 2005), el mismo contará con 25 ha y una vida útil 15 años.

Tabla 3.3 Análisis de costos (Ver Anexo VI). Todos los análisis fueron realizados en Excel: Programa para Valoración Económica. (Peters M.S, 1970)

ESTIMATION OF CAPITAL INVESTMENT BY PERCENTAGE OF DELIVERED EQUIPMENT METHOD

Costo de Equipamiento

Costo Total Inv. Equipos (\$)	1916584.00
--------------------------------------	-------------------

Project Identifier: Illustration 101	Fraction of delivered equipment User: copy from values at left or insert (%)	Calculated values, \$
Direct Costs		
Purchased equipment, E'	-	1916584.000
Delivery, fraction of E'	0.00	0.000
Subtotal: delivered equipment	-	1916584.000
Purchased equipment installation	0.45	862462.800
Instrumentation&Controls(inst alled)	0.09	172492.560
Piping (installed)	0.10	191658.400
Electrical systems (installed)	0.10	191658.400
Buildings (including services)	0.10	191658.400
Yard improvements	0.15	287487.600
Service facilities (installed)	0.00	0.000
Total direct costs	0.99	3814002.160

Continuación

Indirect Costs		
Engineering and supervision	0.20	383316.800
Construction expenses	0.10	191658.400
Legal expenses	0.00	0.000
Contractor's fee	0.00	0.000
Contingency	0.25	479146.000
Total indirect costs	0.55	1054121.200
Fixed capital investment (FCI)		4868123.360
Working capital (WC)	0.30	574975.200
Total capital investment (TCI)		5443098.560

ANNUAL RAW MATERIAL COSTS AND PRODUCTS VALUES			
Products, Coproducts and Byproducts			
Name of Material	Price, \$/Kg	Annual Amount, Kg/y	Annual value of product, \$/y
Papel	0.44	2484200.950	1093048.42
Aluminio	1.00	1489356.950	1489356.95
Cu	4.50	129929.050	584680.73
Fe	0.03	1012298.300	30368.95
Plástico	0.83	1558768.120	1290660.00
Vidrio	1.22	3929925.800	4774859.85
Total annual value of products =			9262974.89

ANNUAL OPERATING LABOR COSTS			
Operating Labor			
Number of operators per shift*	Shifts per day**	Operator rate, \$/h	Annual operating labor cost, million \$/y
50	3	1.405	505800.000

UTILITY COSTS

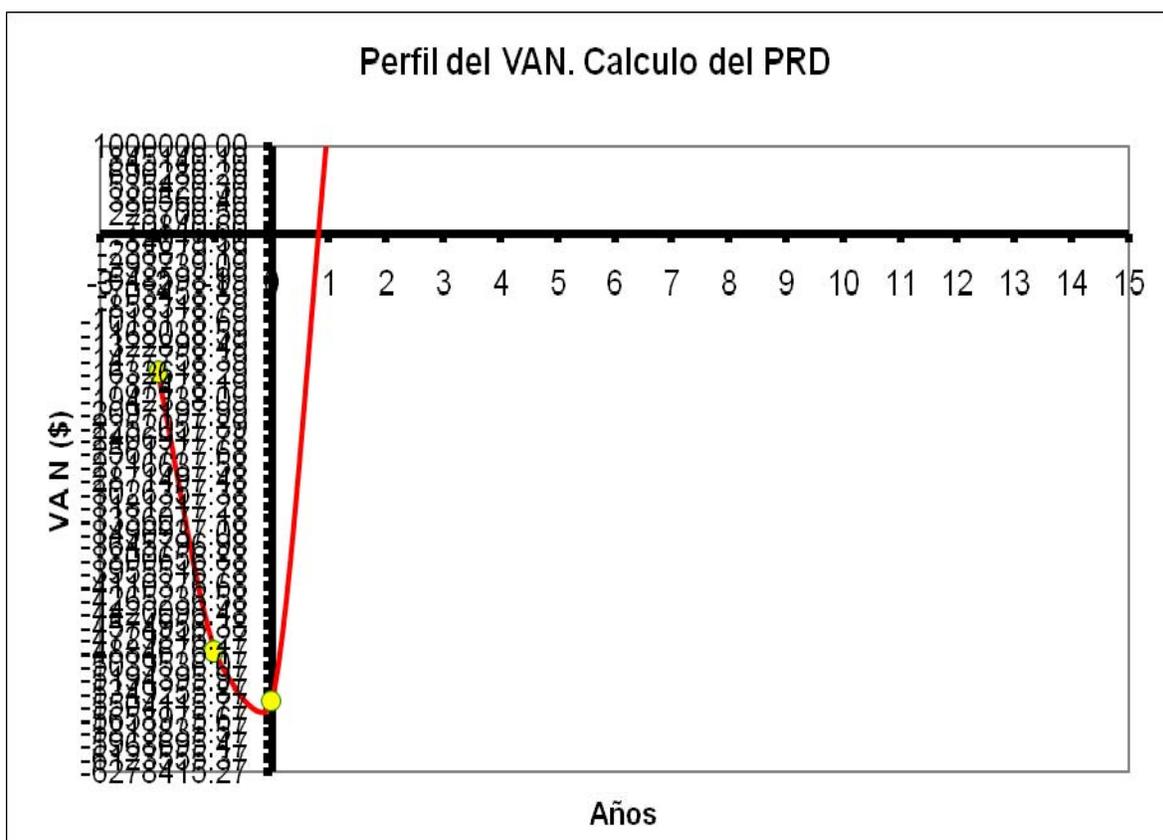
Process Identifier: Illustration 101		Required user input		Notes & comments	
		Result		Default, may be changed	
TOTAL UTILITY COST =		259769.520		\$/y	
		Sent to sheet ' Annual TPC '			
Utility	Default unit cost	Default cost units	Annual utility requirement, in appropriate units	Default units of utility requirement	Annual utility cost, \$/y
Electricity					
Purchased, U.S. average	0.110	\$/kWh	352152	kWh/y	38736.720
Diesel					
Diesel	1.02	\$/lt	216000	GJ/y	221032.800

ANNUAL TOTAL PRODUCT COST AT 100% CAPACITY				
See Figure 6-7 and 6-8				
Default, may be changed		Subtotal	Notes & comments	
User input		RESULT		
Required, may be calculated here, in linked worksheet, or entered manually.				
Project identifier: Illustration 101				
Capacity		Kg per year		
Fixed Capital Investment, FCI	4868123.360	\$		
Item	Default factor, user may change	Basis	Basis cost, \$/y	Cost, \$/y
Raw materials	-	-	-	0.000
Operating labor	-	-	-	505800.000
Operating supervision	0.1	of operating labor	505800.000	50580.000
Utilities	-	-	-	259769.520
Maintenance and repairs	0.02	of FCI	4868123.360	97362.467
Operating supplies	0.1	of maintenance & repair	97362.467	9736.247
Laboratory charges	0	of operating labor	505800.000	0.000
Royalties (if not on lump-sum basis)	0	of c _o	1638740.183	0.000
Catalysts and solvents	0	--		0.000
Variable cost =				923248.234

Taxes (property)	0.07	of FCI	4868123.360	340768.635
Financing (interest)	0	of FCI	4868123.360	0.000
Insurance	0.04	of FCI	4868123.360	194724.934
Rent	0	of FCI	4868123.360	0.000
Depreciation	Calculated separately			
Fixed Charges =				535493.570
Plant overhead, general	0	of labor, supervision and maintenance	653742.467	653742.467
Plant Overhead =				0.000
Manufacturing cost =				1458741.804
Administration	0.15	of labor, supervision and maintenance	653742.467	98061.370
Distribution & selling	0.05	of c_o	1638740.183	81937.009
Research & Development	0	of c_o	1638740.183	0.000
General Expense =				179998.379
TOTAL PRODUCT COST <u>WITHOUT DEPRECIATION</u> = c_o =				1638740.183

$$VAN = \sum_{i=1}^n FCk / (1+i)^n - Inv.$$

Calculo de los valores dinámicos de la factibilidad	
Valor actual neto VAN	\$29,239,064.25
Tasa Interna de Rend. TIR	127%



Recogida selectiva: Esta alternativa crea conciencia ambiental en la población ya que se propicia la separación previa en el domicilio de orgánicos e inorgánicos. Provoca impacto positivo en la opinión pública aunque la implementación de la separación en el domicilio es lenta debido a que se necesita un cambio cultural de la población (Proceso de Capacitación utilizando Medios de Difusión Masiva, trabajo comunitario).

Necesita de inversión en logística de recolección domiciliaria (camiones, bolsas y envases especializados para la recolección diferenciada). Este tipo de desecho está constituido de un alto por ciento de materia orgánica relativamente digerible.

Planta de transferencia: Este tipo de gestión se caracteriza fundamentalmente por una fácil operación, rápida implementación, recuperación de papel, cartón, vidrio, aluminio, plástico y su comercialización, además la instalación de sistemas de prensado y trituración aumenta la capacidad de transporte. Creación de puestos de trabajo (140), impacto positivo en la opinión pública.

Relleno Sanitario: Es un método completo y definitivo para la eliminación de todo tipo de desechos sólidos, tiene bajos costos de operación y mantenimiento, genera empleos para mano de obra no calificada. Puede ubicarse cerca al área urbana, reduciendo los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad. Permite utilizar terrenos considerados improductivos, convirtiéndolos luego en parque o campos de juegos.

En cambio la no utilización de los residuos orgánicos provoca costos elevados en el uso del Relleno Sanitario por acumulación de volumen de materia orgánica. El espacio físico está relacionado a la cantidad de RSU que se generan.

3.3 Alternativa 2

Se pretende mediante **Recogida Selectiva** (especificada en la alternativa 1), aprovechar la fracción recuperable y la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos previamente clasificados en una **Planta de transferencia** (especificada en la alternativa anterior). Disminuyendo así la disposición directa en el Relleno Sanitario.

El proceso planteado consiste en las siguientes etapas: en primer lugar los residuos sólidos urbanos recolectados serán transportados por camiones especializados a la Planta de Transferencia, para la selección de los materiales inorgánicos reciclables y su posterior comercialización, además del aprovechamiento de la materia orgánica según corresponda con la implementación de una **Planta Biogás** (proceso anaerobio) y **Sistema de**

Compostaje (proceso aerobio), disminuyendo así la disposición directa en el relleno sanitario.

La fracción orgánica de los residuos se transformará biológicamente, una parte en la Planta de Biogás (rápida descomposición) para la obtención de gas metano (Acuña, 1984). El metano sería utilizado en la producción de energía eléctrica y los lodos resultantes de la digestión anaerobia se utilizarán como composta en la agricultura. La otra parte de la materia orgánica (lenta descomposición) será transformada en composta (Ver Anexo VII).

Tabla 3.3 Escenario A2

Escenario	A2
Recuperación de Papel y cartón (kg/día)	6806.03
Recuperación de Aluminio (kg/día)	4080.43
Recuperación de Cobre (kg/día)	355.97
Recuperación de Hierro (kg/día)	2773.42
Recuperación de Plástico (kg/día)	4282.33
Recuperación de Vidrio (kg/día)	10766.92
Material orgánico tratado Planta Biogás (kg/día)	25879.94
Material orgánico tratado Planta Compostaje (kg/día)	51794.41
Creación de puestos de trabajo (u)	172
Al Relleno Sanitario (kg/día)	11593.08
Terreno utilizado Relleno Sanitario (ha)	2

Fuente: Elaboración propia

Fundamentos de la Inversión. Procesos biológicos.

Los residuos sólidos orgánicos son recursos naturales no aprovechados, no existe suficiente espacio para su acomodo final desde el punto de vista ecológico, afectan a las personas por la cantidad de vectores que generan y afectan el ornato público. Estos pueden verse como un enorme almacén de energía que se renueva continuamente (Canada, 2005).

3.3.1 Planta de producción de biogás y generación de electricidad a partir de la fracción orgánica de rápida descomposición de los RSU.

Características y Procedencia de la Materia Prima.

La materia prima que se utilizará en el proceso de obtención de biogás es el residuo orgánico proveniente de la recogida de RSU con previa clasificación en la planta de transferencia, según propuesta del escenario A2. El flujo es de 25-30 t/día, con un 10 % de humedad, y un 90 % de sólido.

Aplicaciones.

La producción de biogás constituye una alternativa energética importante, ya que se produce a partir de un desperdicio y originando como subproducto una fracción sólida, utilizada para el enriquecer el proceso de compostaje.

Selección del proceso tecnológico

Los procesos de digestión anaerobios de BioEnergyBerlin (BEB) representan una nueva alternativa para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos con producción de biogás y compost sin causar ninguna afectación al medio ambiente. Los procesos anaerobios BEB garantizan una rápida y eficiente degradación de altas concentraciones de desechos orgánicos, es altamente eficiente en la remoción de sólidos volátiles (SV) y para la recuperación de bioenergía. También son procesos muy estables y de fácil operación. Teniendo en cuenta las características de la materia orgánica a tratar, se selecciona Tecnología BioEnergyBerlin(BEB) 2008 con capacidad de 25-30t/d para la producción de biogás en la Ciudad de Santa Clara (Vinasco, 2008).

La materia orgánica pretratada que alimentara la planta deberá tener un tamaño de partícula menor de 15mm. El sistema de BEB esta diseñado para materia orgánica pretratada proveniente de los domicilios, agro mercados, centros de elaboración de alimentos, industrias alimentarias, etc. El contenido de sólidos totales sedimentables (STS) de esta fracción es diferente y fluctúa entre el 18 y el 40% con un contenido de sólidos volátiles (SV) incluido en el total de sólidos totales sedimentables (STS) de aproximadamente 75%. En adición a eso y con dependencia de la materia prima empleada las producciones de metano pueden ser del orden de $0.25-0.35\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg}/\text{SV}$. Por esta razón aseguramos que estos desechos con un alto contenido de materia orgánica constituyen muy buena materia prima para los procesos de fermentación anaerobia.

El proceso tecnológico consiste en cuatro fases principales: preparación, hidrólisis, digestión anaerobia y utilización de biogás. La tecnología principal de este diseño de proyecto es el proceso de digestión anaerobia que descompone la fracción orgánica de los RSU en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) a través de un proceso de fermentación anaerobia que puede también reducir la contaminación del medio ambiente.

El proceso de tratamiento anaerobio es el paso más importante en todo sistema donde tiene lugar la digestión anaerobia de la materia orgánica y donde se genera biogás. Con el objetivo de seleccionar un proceso óptimo de tratamiento anaerobio y alcanzar los parámetros que refiere los términos de referencia (TOR) para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSU en el proyecto de biogás en Cuba, se recomienda la opción de un reactor completamente agitado (TRAC) para el diseño del proceso. Se considera que la decisión es acertada ya que se genera biogás suficiente para lograr los 794.4 kWh requeridos diariamente por la planta. El biogás obtenido en el digestor contiene de 60-80% de gas metano y por cada metro cúbico de metano obtenido se generan de 4,9 kWh a 6kWh. Su poder calorífico es de aproximadamente (800BTU/pe³), lo que permite emplearlo con propósitos de generación de energía; en iluminación y medio de calentamiento para cocción de alimento, etc.

El digestor puede procesar residuos orgánicos con alta concentración de sólidos suspendidos (SS= 5000mg/l) y alta carga de sólidos totales sedimentables (STS>5%).

Consumos fundamentales y sus características.

Los consumos principales de la planta son:

H₂O = 150-200 m³/día

Electricidad =794.4 kWh/día

Material Orgánico= 25-30 t/día

Lo cual representa una mezcla de 1: 6(por cada tonelada de materia orgánica se añaden 6m³ de agua)

Alternativas de Macro localización.

Existen varios factores a tener en cuenta para la posible ubicación de una planta de biogás; estos son:

- La distancia prudente de las zonas residenciales debido a los malos olores que la materia prima genera y a los posibles escapes del gas metano el cual es perjudicial para la salud humana.
- Facilidades de servicios básicos como fuente de abasto de agua, fácil vía de acceso, disponibilidad de terrenos.
- Disponibilidad de materia prima.
- Impacto al medio ambiente que tienen los residuos orgánicos dispuestos al producir gases contaminantes al descomponerse en su disposición sin aprovechamiento.

Teniendo en cuenta todos estos factores, se podría ubicar la misma en zonas aledañas al Relleno Sanitario ya que el sitio cumpliría con todos los parámetros necesarios para la ubicación de esta planta.

Principales etapas y equipos necesarios en el proceso:

1. Trituración (Molino de martillos)
2. Mezclado (Tanque colector o de almacenamiento de materia orgánica)
3. Hidrólisis (Tanque de Hidrólisis)
4. Digestión Anaerobia (Tanque digestor)
5. Separación de líquido y sólido (Tanque de Separación)
6. Almacenamiento de líquido (Tanque de almacenamiento)
7. Almacenamiento de sólido (Tanque de almacenamiento)
8. Filtración (Torre de desulfuración)
9. Almacenamiento de Gas Metano (Tanque de almacenamiento)
10. Generación de energía eléctrica (Cogenerador)

Descripción del proceso por etapas:

Pretratamiento de la materia orgánica: mediante el empleo de un triturador de martillos se garantiza reducir y homogenizar el tamaño de partícula de la materia prima a utilizar (15mm), aumentando de esta forma la eficiencia en el proceso de producción de biogás. Este residuo orgánico se vierte en el tanque colector agitado con un volumen de 145m³ donde se le añade agua con el objetivo de disolver la materia orgánica. Mediante un sistema de bombeo la mezcla pretratada es enviada al tanque de hidrólisis.

Sistema de hidrólisis: se alimenta con una mezcla orgánica de desechos sólidos y el efluente líquido del tanque de almacenamiento de líquidos. En esta etapa ocurre un proceso semianaerobio, este tanque agitado con un volumen de 225 m³ trabaja a una temperatura que oscila entre 20-40⁰C y un tiempo de retención hidráulico de 3 días. El sustrato hidrolizado es bombeado hacia el digestor para el proceso de fermentación anaerobia.

Digestión anaerobia: Del tanque de hidrólisis, el efluente con contenido sólido pasa a alimentar el tanque de digestión anaerobia con un volumen de 1500 m³ y un tiempo de retención hidráulica de 10-15 días, este tanque (reactor) con agitación continua (TRAC), trabaja a una temperatura de 55 ⁰C y una presión de 58 Kpa, para que la fermentación permita la descomposición de los residuos orgánicos y elimine las bacterias patógenas, los gusanos parásitos y óvulos que se encuentran en la basura. Por consiguiente se deberá

instalar una tubería directa de calentamiento de agua en la pared interior del digestor. Para calentar esta agua se empleara la energía calórica generada por la unidad generadora (Romero, 2008).

Posteriormente, los efluentes del digestor se envían a un separador sólido-líquido donde el líquido es recirculado al proceso y el sólido enviado a la planta de compost, el gas una vez purificado es empleado como combustible en un motor de combustión interna para generar energía eléctrica, con una producción diaria 7,3 MW.

3.3.2 Planta de producción de compost a partir de la fracción orgánica de los RSU. Características y Procedencia de la Materia Prima.

La materia prima que se utilizará en el proceso de compostaje es una parte del residuo orgánico proveniente de la planta de transferencia (materia orgánica de lenta descomposición; fundamentalmente poda de árboles) según propuesta de escenario A2. Se selecciona Tecnología DEISA 2003. Se podrá planificar que la planta trabaje las 24 horas con 3 turnos de 8 horas. El flujo es de 50-55 t/día, con un 10 % de humedad, y un 90 % de sólido.

Aplicaciones

La producción de compost constituye una alternativa para el tratamiento de RSU, ya que se produce abono orgánico a partir de un desperdicio. Este abono es muy utilizado en la agricultura y la jardinería.

Selección del proceso tecnológico

La producción de composta o compostaje, consiste fundamentalmente en la degradación biológica de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos municipales, la cual puede ser conseguida siguiendo métodos diversos. El resultado obtenido mediante este proceso es un producto que, si bien no posee las características de un fertilizante completo, si es susceptible de ser utilizado como un mejorador de suelos para uso agrícola y en jardines, ya que su aplicación permite reintegrar ciertos nutrientes agotados por la siembra extensiva de cultivos y otras actividades.

Básicamente, el proceso de compostaje se inicia a través de un preprocesamiento de los residuos (clasificación), consistente en la recepción, retiro del material inorgánico/no degradable que puede estar mezclado, bolsas de nylon y residuos peligrosos domiciliarios

procedentes de la planta de transferencia con objeto de obtener un producto de buena calidad, reducción de tamaño y ajuste de las propiedades del residuo orgánico remanente. Seguidamente, se produce la descomposición de la fracción orgánica de los residuos preprocesados, el material a granel es enviado al área de compostado donde se realizan las pilas de residuos, las cuales no deben ser mayores de un metro. Estas se van rotando diariamente (controlando temperatura y humedad), produciéndose la biodegradación. El producto de la descomposición es un material semicurado y técnicamente bioestabilizado el cual será embolsado manualmente y almacenado para su comercialización como abono orgánico y mejora de suelos en agricultura.

Consumos fundamentales y sus características.

Los consumos principales de la planta son:

Material Orgánico= 50-55 t/d

H₂O = 50 m³ /dia.

Electricidad=52.8kWh

Alternativas de Macro localización.

Se podría ubicar la misma aledaña al Relleno sanitario y a la planta de biogás ya que el sitio cumpliría con los parámetros para la ubicación de esta planta.

Principales etapas y equipos necesarios en el proceso:

1. Preprocesamiento:
 - Trituración (Molino de martillos, grúa viajera jaiba de 2m³; 20 viajes/hora)
2. Compostaje: (Instrumental para control del proceso, tractor con pala cargadora-volteadora Capacidad 1m³)
3. Envasado:(envasado de forma manual)

Descripción del proceso por etapas:

Materia orgánica+O₂ Compost+Células nuevas+CO₂+H₂O+NH₃+SO₄+Calor

Trituración: Operación indispensable para residuos de poda. Consiste en reducir el tamaño de los materiales para facilitar la degradación, con la finalidad de lograr mayor eficiencia durante el proceso de fermentación (El 90 % del material debe tener un diámetro máximo de partículas de 7.5cm y el 10% un tamaño menor de 2.5cm).

Fermentación lenta: este tipo de proceso se llevará a cabo a la intemperie, formando pilas de longitud variable sobre el suelo, y comprende una etapa preliminar de fermentación y una posterior de maduración o estabilización. Es necesario revolver los residuos periódicamente utilizando un tractor con pala cargadora-volteadora con el objetivo de

asegurar la degradación aerobia efectuada por los microorganismos. Este proceso requiere de uno a tres meses para llevarse a cabo y puede verse afectado directamente por las condiciones climatológicas del sitio en particular (BERDEA, 2008).

Factores que intervienen en el proceso de compostaje

Teniendo en cuenta que en el proceso de compostaje, los responsables o agentes de la transformación son los seres vivos, todos aquellos factores que puedan limitar su vida y desarrollo, limitarán también al propio proceso (Martínez Navarrete Eduardo, 2003; Gautiery 2007).

1. Microorganismos

- Salmonella: ausente en 25 g
- Streptococcus fecalis: 1.0x1000 NMP/g
- Enterobacterias totales: 1.0x1000 CFU/g
- E. coli: R1000

2. Puntos de inactivación térmica de estas bacterias son:

- Salmonella typha: 30 minutos a 55-60°C
- E. Coli: 1 hora a 55°C

Parámetros a controlar en el proceso

1. PH

- Optimo sería neutro, entre 7 y 8.5 para evitar perdidas de nitrógeno en forma de amoniaco.

2. Contenido máximo en metales pesados (mg/kg de materia seca)

- Cadmio (Cd) 10
- Cobre (Cu) 450
- Níquel (Ni) 120
- Plomo (Pb) 300
- Zinc (Zn) 1100
- Mercurio (Hg) 7
- Cromo (Cr) 400

3. Humead máxima

- 50 a 60%

4. Relación carbono nitrógeno(C/N)

- Relación de 30/50 para fermentación pasando a 25/35 en la etapa de estabilización.

5. Temperatura

- Es conveniente mantener la temperatura entre 50-55⁰C durante los primeros días de fermentación, y entre 55-60⁰C para el resto del proceso. Si la temperatura rebasa los 65⁰C la actividad biológica puede verse drásticamente reducida, sin embargo es recomendable elevar la temperatura hasta 70⁰C durante un máximo de 24h, para eliminar gérmenes patógenos, semillas de maleza y otros.

6. Inoculación y siembra

- Pueden utilizarse residuos sólidos en descomposición, aguas residuales o estiércol.

7. Tamaño de partícula

- Rango de 2.5-7.5cm, para lograr una eficiencia adecuada en la aireación.

Tabla 3.4 Precios de productos. Compradores.

No	Productos	Precios	Empresas	Venta Anual
1	Papel y cartón	440\$/t	Rene Bebia (MINBAS)	2484.2 t
2	Aluminio	1000\$/t	ALCUBA	1489.4 t
3	Cobre	4500\$/t	DESEQUIP	129.9 t
4	Hierro	30\$/t	Antillana de Acero	405.0 t
			Laminador Tunas	607.3 t
5	Plástico	828\$/t	Ind Locales Poder Popular VC	1200 t
			ERM Cienfuegos	358.8 t
6	Vidrio	1215\$/t	Cuna 9 (MINAZ)	629.9 t
			Planta de Tratamiento	3000 t
			Fábrica de vidrio de La Lisa. Habana	300 t
7	Energía Eléct	0.03\$/kwh	Red Nacional	2018700kW/año
8	Compost	0.05\$/t	Delegación Territorial (MINAGRI)	10284
			MINAZ	8620

Fuente: Listado Oficial de Precios de las Materias Primas (UERMP). Empresa Eléctrica. Sanidad Vegetal 2009

Tabla 3.5 Análisis de costos (Ver Anexo VIII). Todos los análisis fueron realizados en Excel: Programa para Valoración Económica. (Peters M.S, 1970)

ESTIMATION OF CAPITAL INVESTMENT BY PERCENTAGE OF DELIVERED EQUIPMENT METHOD

Costo de Equipamiento

Costo Total Inv. Equipos (\$)	2247512.70
--------------------------------------	-------------------

Project Identifier: Illustration 101	Fraction of delivered equipment User: copy from values at left or insert (%)	Calculated values, \$
Direct Costs		
Purchased equipment, E'	-	2247512.700
Delivery, fraction of E'	0.00	0.000
Subtotal: delivered equipment	-	2247512.700
Purchased equipment installation	0.45	1011380.715
Instrumentation&Controls(installed)	0.09	202276.143
Piping (installed)	0.10	224751.270
Electrical systems (installed)	0.10	224751.270
Buildings (including services)	0.10	224751.270
Yard improvements	0.15	337126.905
Service facilities (installed)	0.00	0.000
Total direct costs	0.99	4472550.273

Continuación

Indirect Costs		
Engineering and supervision	0.20	449502.540
Construction expenses	0.10	224751.270
Legal expenses	0.00	0.000
Contractor's fee	0.00	0.000
Contingency	0.25	561878.175
Total indirect costs	0.55	1236131.985
Fixed capital investment (FCI)		5708682.258
Working capital (WC)	0.30	674253.810
Total capital investment (TCI)		6382936.068

ANNUAL RAW MATERIAL COSTS AND PRODUCTS VALUES			
Products, Coproducts and Byproducts			
Name of Material	Price, \$/Kg	Annual Amount, Kg/y	Annual value of product, \$/y
Papel	0.44	2484200.950	1093048.42
AL	1.00	1489356.950	1489356.95
Cu	4.50	129929.050	584680.73
Fe	0.03	1012298.300	30368.95
Plastico	0.83	1558768.120	1290660.00
Vidrio	1.22	3929925.800	4774859.85
Electricidad	0.03	2018700.000	60561.00
Compos	0.05	18904959.650	945247.98
Total annual value of products =			10268783.87

ANNUAL OPERATING LABOR COSTS

Operating Labor			
Number of operators per shift*	Shifts per day**	Operator rate, \$/h #	Annual operating labor cost, million \$/y
60	3	1.405	606960.000

UTILITY COSTS

Process Identifier: Illustration 101		Required user input		Notes & comments	
		Result		Default, may be changed	
TOTAL UTILITY COST =		293767.880	\$/y		
		Sent to sheet ' Annual TPC '			
Utility	Default unit cost	Default cost units	Annual utility requirement, in appropriate units	Default units of utility requirement	Annual utility cost, \$/y
Electricity					
Purchased, U.S. average	0.110	\$/kWh	661228	kWh/y	72735.080
Diesel					
Diesel	1.02	\$/lt	216000	GJ/y	221032.800

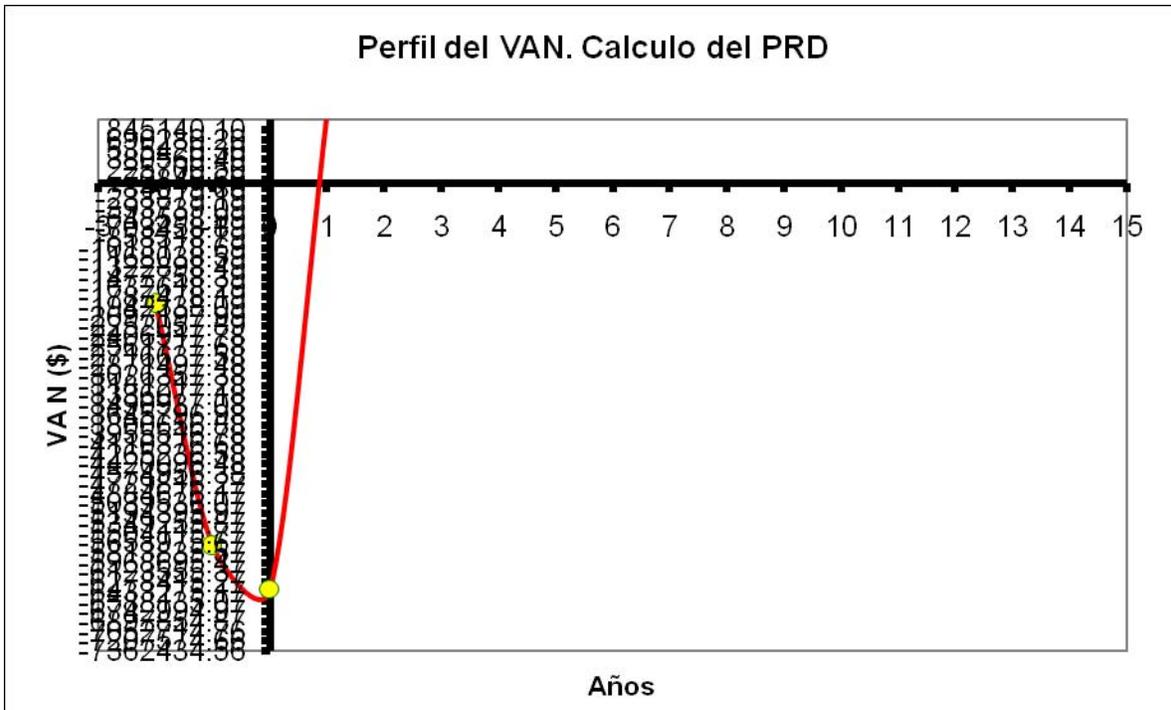
ANNUAL TOTAL PRODUCT COST AT 100% CAPACITY				
See Figure 6-7 and 6-8				
Default, may be changed		Subtotal	Notes & comments	
User input		RESULT		
Required, may be calculated here, in linked worksheet, or entered manually.				
Project identifier: Illustration 101				
Capacity		Kg per year		
Fixed Capital Investment, FCI	5708682.258	\$		
Item	Default factor, user may change	Basis	Basis cost, \$/y	Cost, \$/y
Raw materials				0.000
Operating labor				606960.000
Operating supervision	0.1	of operating labor	606960.000	60696.000
Utilities				293767.880
Maintenance and repairs	0.02	of FCI	5708682.258	114173.645
Operating supplies	0.1	of maintenance & repair	114173.645	11417.365
Laboratory charges	0	of operating labor	606960.000	0.000
Royalties (if not on lump-sum basis)	0	of c_o	1928678.300	0.000
Catalysts and solvents	0	--		0.000
Variable cost =				1087014.890

Continuación

Taxes (property)	0.07	of FCI	5708682.258	399607.758
Financing (interest)	0	of FCI	5708682.258	0.000
Insurance	0.04	of FCI	5708682.258	228347.290
Rent	0	of FCI	5708682.258	0.000
Depreciation	Calculated separately			
Fixed Charges =				627955.048
Plant overhead, general	0	of labor, supervision and maintenance	781829.645	781829.645
Plant Overhead =				0.000
Manufacturing cost =				1714969.938
Administration	0.15	of labor, supervision and maintenance	781829.645	117274.447
Distribution & selling	0.05	of c_o	1928678.300	96433.915
Research & Development	0	of c_o	1928678.300	0.000
General Expense =				213708.362
TOTAL PRODUCT COST <u>WITHOUT DEPRECIATION</u> = c_o =				1928678.300

$$VAN = \sum_{i=1}^n FCk / (1+i)^n - Inv.$$

Calculo de los valores dinámicos de la factibilidad	
Valor actual neto VAN	\$31,574,923.66
Tasa Interna de Rend. TIR	118%



La digestión anaerobia de los desechos sólidos orgánicos municipales representa un tratamiento alternativo a los métodos convencionales de disposición, representando una nueva alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos con producción de biogás y compost, sin causar ninguna afectación al medio ambiente. Los procesos anaerobios garantizan una rápida y eficiente degradación de la materia orgánica. También son procesos muy estables y de fácil operación.

El compostaje de RSU se caracteriza por reciclar la materia orgánica para utilizarlo en forma de fertilizante orgánico en horticultura y/o forestación. Propicia el desarrollo de la Industria del Fertilizante Orgánico y gestiona la su comercialización con calidad diferenciada para cultivos hortícolas orgánicos. Crea puestos de trabajo. La puesta en marcha de la planta puede ser rápida. También disminuye los costos por uso menor de Relleno Sanitario, debido a la disminución de volumen de materia orgánica por reciclado.

3.4 Alternativa 3

En esta alternativa se propone la **Recogida Selectiva** de los RSU (descrita en la alternativa 1), pretendiendo aprovechar la fracción recuperable de los Residuos Sólidos Urbanos mediante la **Clasificación** (descrita en la alternativa 1), además de un **Sistema de Incineración** con recuperación de energía para la fracción restante (no incluye la

materia orgánica de rápida descomposición), logrando una disminución considerable del vertido en el vertedero. También la construcción de un **Relleno Sanitario Controlado**.

El proceso planteado consistiría en las siguientes etapas: en primer lugar los residuos sólidos urbanos recolectados serían transportados por medio de camiones especializados a una Planta de Transferencia, allí serían descargados para la selección de los materiales reciclables y su posterior comercialización. La parte restante (no incluye la materia orgánica de rápida descomposición) será llevada a la Planta de Incineración. La materia orgánica de rápida descomposición y las cenizas resultantes de la incineración serán depositadas en el relleno sanitario (Ver Anexo IX). Es necesario tener en cuenta que por cada 3 toneladas de residuos que se incineran se produce una tonelada de cenizas (Tangri, 2005).

Tabla 3.6 Escenario A3

Escenario	A3
Recuperación de Papel y cartón (kg/d)	6806.03
Recuperación de Aluminio (kg/d)	4080.43
Recuperación de cobre (kg/d)	355.97
Recuperación de hierro (kg/d)	2773.42
Recuperación de plástico (kg/d)	4282.33
Recuperación de vidrio (kg/d)	10766.92
Cantidad de residuos que se incineran(kg/d)	63387.49
Creación de puestos de trabajo (u)	170
Al Relleno Sanitario (kg/d)	47009.1
Terreno utilizado Relleno Sanitario (ha)	10

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Miniplanta de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos con recuperación de energía.

Fundamentos de la Inversión

La utilización de esta tecnología reduce considerablemente la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario. La reducción del volumen es de aproximadamente entre el 80 y 90 %. Como producto de la incineración quedan cenizas y escorias que pueden ser llevadas a un relleno sanitario o ser utilizadas para la construcción de caminos y rutas. Durante la incineración se produce gran cantidad de energía térmica que, como en la alternativa 2, puede ser aprovechada.

Características y Procedencia de la Materia prima

La materia prima que se utilizará en el proceso es el residuo no reciclable proveniente de la planta de transferencia (no incluye la materia orgánica rápida descomposición), según propuesta de escenario A3. El flujo es de 60-65 t/día, con bajo % de humedad. El poder calorífico inferior (PCI) varía entre 800 y 1600kcal/kg.

Aplicaciones

La incineración de residuos sólidos urbanos constituye una alternativa energética, ya que se produce energía eléctrica a partir de un desperdicio. Como resultado del proceso se obtienen escorias y cenizas que deben ser dispuestas cuidadosamente.

Selección del proceso tecnológico

La incineración de RSU es un proceso que consiste en la transformación de la fracción combustible de aquellos en un producto gaseoso (fundamentalmente CO₂ y H₂O) y un producto sólido relativamente inerte y libre de microorganismos compuesto por escorias y cenizas, en base a una combustión controlada vía oxidación a altas temperaturas. Este producto gaseoso puede contener además otros tipos de compuestos como son monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ácido clorhídrico y compuestos tóxicos como pueden ser dioxinas y furanos, además de ciertos metales pesados. Por otra parte las escorias generalmente están compuestas por materiales incombustibles tales como piedras, residuos de construcción, cerámica etc. De manera general y de acuerdo a los equipos utilizados en la incineración de RSU actualmente en operación y disponibles en el mercado, se selecciona un Sistema de Incineración Continua con Horno de Parrillas Móviles, donde se puede llevar a cabo de manera ininterrumpida la alimentación de residuos al horno, la combustión de los mismos y la eliminación de grandes volúmenes de residuos. El costo de inversión del Sistema de incineración ha sido estimado (Regla Punto 6) a partir de datos actualizados del 2008 (QuimiNet, 2008). La planta correspondiente debe ser operada de manera continua las 24h.

Consumo de Material = 60-65 t/d

Alternativas de Macro localización

Teniendo en cuenta que cuando la planta de incineración opera se producen ruidos y olores desagradables, esta deberá ubicarse lejos de la población. La misma podrá ser ubicada aledaña al relleno sanitario.

Principales etapas y equipos necesarios en el proceso:

1. Abastecimiento de residuos
2. Incineración (Horno de parrillas móviles, ventiladores)
3. Enfriamiento de gases (Equipos de radiación de calor)
4. Tratamiento de gases y vapores (Lavadores de gases, filtros, precipitadores electrostáticos, ciclones, instrumentos de control para medición y análisis).
5. Expulsión de cenizas y escorias (Bandas, tornillos sinfín)
6. Sistema de recuperación de energía (Caldera, turbina)
7. Emisión de gases de combustión (Chimenea de tiro forzado)

Descripción del proceso por etapas:

Abastecimiento de residuos: Esta primera etapa comprende la recepción de los residuos en una fosa de almacenamiento temporal (60-65t/d). De esta fosa, los residuos son alimentados al horno mediante una grúa de almeja.

Incineración: Es la etapa fundamental del proceso y consiste básicamente en la combustión de los residuos a temperaturas entre 800-1000⁰C y la generación de gases producto de la combustión, así como de cenizas y escorias. El movimiento de las parrillas sobre la cual se realiza la combustión dispersa y hace avanzar los residuos favoreciendo la remoción y combustión de los mismos. Las parrillas son metálicas con inclinación de unos 25⁰, el aire en exceso (100% exceso) entra por la parte inferior a velocidades altas. Este tipo de horno admite carga sin tratamiento previo, el tiempo de retención de sólidos es constante. Logrando una reducción del 90% peso de residuos y 95 % volumen.

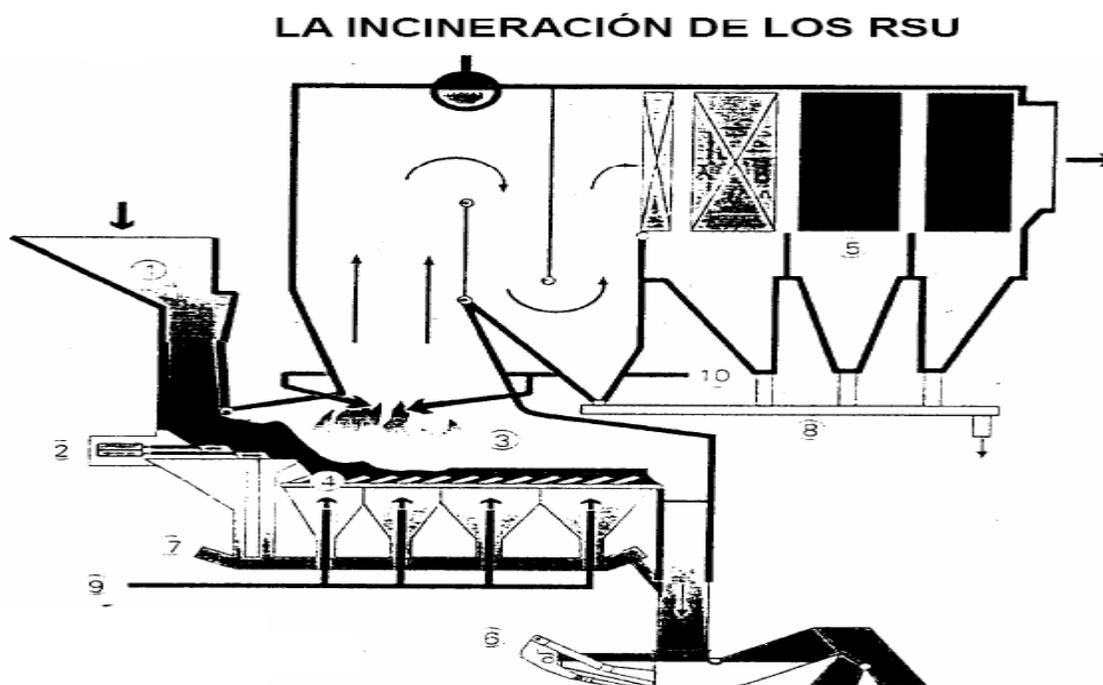
Enfriamiento de gases: Dada la elevada temperatura a la cual se efectúa la combustión (800⁰C-1000⁰C), es necesario enfriarlos antes de pasar a otros para su tratamiento y su emisión a la atmosfera.

Tratamiento de los gases: esta etapa evita la emisión de gases contaminantes a la atmosfera, es necesario dar tratamiento a estos mediante el uso de equipos de control, para eliminar el material particulado y los gases nocivos (SO_x, NO_x, etc). Este objetivo se consigue mediante el uso de lavadores de gases, filtros, precipitadores electrostáticos, ciclones, etc.

Expulsión de cenizas y escorias: Estos productos generados principalmente en el horno son extinguidos después de la combustión y transportados a un sitio mediante el uso de bandas y tornillos sinfín, antes de ser evacuados a un contenedor o a un carro especializado para su transporte al relleno sanitario. Asimismo son recolectados los residuos generados en los equipos de tratamiento y enfriamiento de gases.

Emisión de gases de combustión: Al término del proceso de incineración los gases de combustión son emitidos a la atmósfera a través de chimeneas de tiro forzado, las cuales deben contar con la altura necesaria para la adecuada dispersión de los gases emitidos.

- Ilustración de un Horno de Parrillas



- 1 Tolva de alimentación RSU
- 2 Alimentador
- 3 Cámara de combustión
- 4 Parrilla
- 5 Caldera de vapor
- 6 Descarga de escorias
- 7 Transportador de escorias
- 8 Recolector de cenizas volantes
- 9 Inyección de aire primario
- 10 Inyección de aire secundario

Tabla 3.7 Precios de productos. Compradores.

No	Productos	Precios	Empresas	Venta Anual
1	Papel y cartón	440\$/t	Rene Bebia (MINBAS)	2484.2 t
2	Aluminio	1000\$/t	ALCUBA	1489.4 t
3	Cobre	4500\$/t	DESEQUIP	129.9 t
4	Hierro	30\$/t	Antillana de Acero	405.0 t
			Laminador Tunas	607.3 t
5	Plástico	828\$/t	Ind Locales Poder Popular VC	1200 t
			ERM Cienfuegos	358.8 t
6	Vidrio	1215\$/t	Cuna 9 (MINAZ)	629.9 t
			Planta de Tratamiento	3000 t
			Fábrica de vidrio de La Lisa. Habana	300 t
7	Energía Eléct	0.40\$/kwh	Red Nacional	620000kW/año

Fuente: Listado Oficial de Precios de las Materias Primas (UERMP). Empresa Eléctrica 2009

Tabla 3.8 Análisis de costos (Ver Anexo X). Todos los análisis fueron realizados en Excel: Programa para Valoración Económica. (Peters M.S, 1970)

Costo de Equipamiento

Costo Total Inv. Equipos (\$)	12298584.00
--------------------------------------	--------------------

ESTIMATION OF CAPITAL INVESTMENT BY PERCENTAGE OF DELIVERED EQUIPMENT METHOD		
Project Identifier: Illustration 101	Fraction of delivered equipment User: copy from values at left or insert (%)	Calculated values, \$
Direct Costs		
Purchased equipment, E'	-	12298584.000
Delivery, fraction of E'	0.00	0.000
Subtotal: delivered equipment	-	12298584.000
Purchased equipment installation	0.45	5534362.800
Instrumentation&Controls(installed)	0.09	1106872.560
Piping (installed)	0.10	1229858.400
Electrical systems (installed)	0.10	1229858.400
Buildings (including services)	0.10	1229858.400
Yard improvements	0.15	1844787.600
Service facilities (installed)	0.00	0.000
Total direct costs	0.99	24474182.160

Continuación

Indirect Costs		
Engineering and supervision	0.20	2459716.800
Construction expenses	0.10	1229858.400
Legal expenses	0.00	0.000
Contractor's fee	0.00	0.000
Contingency	0.25	3074646.000
Total indirect costs	0.55	6764221.200
Fixed capital investment (FCI)		31238403.360
Working capital (WC)	0.30	3689575.200
Total capital investment (TCI)		34927978.560

ANNUAL RAW MATERIAL COSTS AND PRODUCTS VALUES			
Products, Coproducts and Byproducts			
Name of Material	Price, \$/Kg	Annual Amount, Kg/y	Annual value of product, \$/y
Papel	0.44	2484200.950	1093048.42
AL	1.00	1489356.950	1489356.95
Cu	4.50	129929.050	584680.73
Fe	0.03	1012298.300	30368.95
Plastico	0.83	1558768.120	1290660.00
Vidrio	1.22	3929925.800	4774859.85
Electricidad	0.40	620500.000	248200.00
			0.00
Total annual value of products =			9511174.89

ANNUAL OPERATING LABOR COSTS			
Operating Labor			
Number of operators per shift*	Shifts per day	Operator rate, \$/h #	Annual operating labor cost, million \$/y
60	3	1.405	606960.000

UTILITY COSTS					
Process Identifier: Illustration 101		Required user input		Notes & comments	
		Result		Default, may be changed	
TOTAL UTILITY COST =		293767.880	\$/y		
		Sent to sheet ' Annual TPC '			
Utility	Default unit cost	Default cost units	Annual utility requirement, in appropriate units	Default utility requirement	of Annual utility cost, \$/y
Electricity					
Purchased, U.S. average	0.110	\$/kWh	661228	kWh/y	72735.080
Diesel					
Diesel	1.02	\$/lt	216000	GJ/y	221032.800

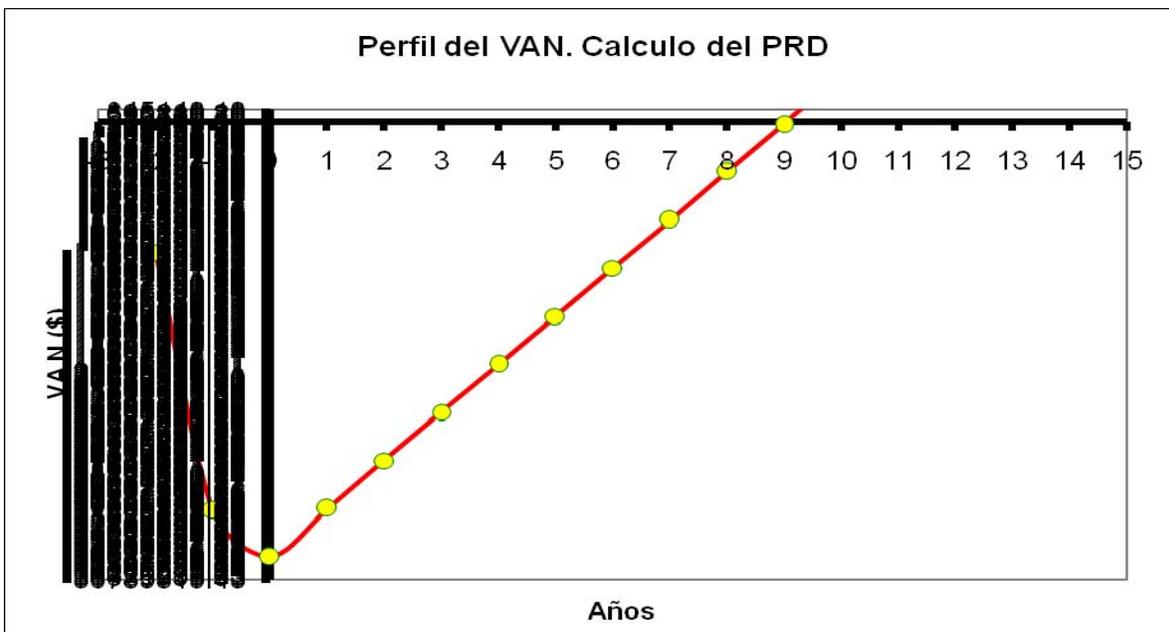
ANNUAL TOTAL PRODUCT COST AT 100% CAPACITY				
Default, may be changed		Subtotal	Notes & comments	
User input		RESULT		
Required, may be calculated here, in linked worksheet, or entered manually.				
Capacity		Kg per year		
Fixed Capital Investment, FCI	31238403.360	\$		
Item	Default factor, user may change	Basis	Basis cost, \$/y	Cost, \$/y
Raw materials	-	-	-	0.000
Operating labor	-	-	-	606960.000
Operating supervision	0.1	of operating labor	606960.000	60696.000
Utilities	-	-	-	293767.880
Maintenance and repairs	0.02	of FCI	31238403.360	624768.067
Operating supplies	0.1	of maintenance & repair	624768.067	62476.807
Laboratory charges	0	of operating labor	606960.000	0.000
Royalties (if not on lump-sum basis)	0	of c _o	5556586.035	0.000
Variable cost =				1648668.754

Continuación

Taxes (property)	0.07	of FCI	31238403.360	2186688.235
Financing (interest)	0	of FCI	31238403.360	0.000
Insurance	0.04	of FCI	31238403.360	1249536.134
Rent	0	of FCI	31238403.360	0.000
Depreciation	Calculated separately			
Fixed Charges =				3436224.370
Plant overhead, general		0	of labor, supervision and maintenance	1292424.067
Plant Overhead =				0.000
Manufacturing cost =				5084893.124
Administration	0.15		of labor, supervision and maintenance	1292424.067
Distribution & selling	0.05		of c_o	5556586.035
Research & Development	0		of c_o	5556586.035
General Expense =				471692.912
TOTAL PRODUCT COST <u>WITHOUT DEPRECIATION</u> = c_o =				5556586.035

$$VAN = \sum_{i=1}^n FCk / (1+i)^n - Inv.$$

Calculo de los valores dinámicos de la factibilidad	
Valor actual neto VAN	-\$15,497,745.54\$
Tasa Interna de Rend. TIR	2%



Miniplanta de incineración: La principal ventaja del proceso es que reduce el volumen y el peso de los desechos sólidos hasta en un 90%. Sin embargo, se tiene que es una tecnología muy costosa y en la que no se recuperan básicamente los costos de la inversión, además de que se generan emisiones contaminantes a la atmósfera que se acrecientan si existe una operación no adecuada del proceso. Aún cuando en el presente se cuenta con equipos que tienen sistemas para un mayor control de las emisiones a la atmósfera, estos incrementan su costo hasta en un 20% con lo que resulta una tecnología casi inaccesible para países en vías de desarrollo (USA, 2004).

Por otro lado los costos de inversión y operación sobre todo para filtrar los gases que se producen por la incineración o combustión de los RSU, son muy elevados porque la tecnología es muy compleja. El correcto mantenimiento de la planta necesita de personal bien preparado porque una incorrecta incineración puede producir un importante impacto ambiental, como es la liberación a la atmósfera de Dioxinas y Furanos (gases tóxicos que tienen efecto negativo sobre los seres humanos y la vida en general). Hay que tener en cuenta que por cada 3 toneladas de residuos que se incineran se produce una tonelada de cenizas. Estas cenizas son consideradas peligrosas y deben ir a un relleno sanitario de seguridad. La escoria del horno incinerador que no esté contaminada puede utilizarse en la construcción de rutas, caminos, diques, etc (Michelle Allsopp,2007).

Es importante decir que algunos autores, Giselle D Kaye (2004) y otros no justifican la incineración para menos de 150 t/d de residuos .por los altos costos en el mantenimiento de estas plantas.

Conclusiones Parciales

1. Para realizar e implementar la recogida selectiva de los Residuos Sólidos Urbanos es necesario crear en la población una correcta conciencia ambiental. Esto permite seleccionar los residuos desde el origen para su posterior transferencia y aprovechamiento en las diferentes plantas de tratamiento. El relleno sanitario es indispensable para la disposición final del material no tratado.
2. La Alternativa A1 a pesar de contar con el reciclaje de material recuperable, no cubre las expectativas de tratamiento de los Residuos Sólidos Urbano en Cuba. Esto se debe a que después de separar estos, el material restante debe ser llevado al relleno, provocando la descomposición indiscriminada de residuos orgánicos aprovechables.
3. El reciclaje de material recuperable seguido de la producción de biogás y compost a partir de RSU (Alternativa A2), confirmó, según los resultados económicos obtenidos, ser una alternativa viable para países en vías de desarrollo como Cuba. Disminuyendo en un alto por ciento la cantidad de residuos a disponer. Esta alternativa tiene un Valor Actual Neto de \$31,574,923.66, una Tasa Interna de Rendimiento del 118% y un Período de Recuperación de Descuento de aproximadamente 1año.
4. Aun cuando la incineración tiene ventajas en cuanto a disminución de espacio en el relleno y aprovechamiento de energía, la complejidad de su tecnología hace que se encarezca la alternativa (Alternativa A3), no justificándose la inversión para la cantidad de residuos a incinerar.

Conclusiones Generales

1. Todos los Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos deben tener en común, minimización de la generación, clasificación en el origen, reciclaje y tratamiento de los residuos recolectados.
2. El sistema actual de manejo de Residuos Sólidos Urbanos en Santa Clara no responde a las necesidades ambientales, sanitarias y legales de la población, solo incluye la recogida y disposición de los residuos en el vertedero municipal, incluyendo los residuales que generan las entidades de salud.
3. A partir de la caracterización realizada en la población de la Ciudad de Santa Clara por la Dirección Provincial de Servicios Comunes, se corroboró que en Cuba, y específicamente en la Ciudad de Santa Clara la porción orgánica se comporta entre 60% y el 65 %, por lo que se realizó el estudio de varias alternativas para su tratamiento.
4. De todas las alternativas analizadas, la de mejores resultados fue la Alternativa A2. Esto se debe al alto valor obtenido por la comercialización del material reciclable, el aprovechamiento de la fracción orgánica, con fines energéticos y la obtención de compost para su uso en la agricultura. como fertilizante y acondicionador de terrenos.

Recomendaciones

1. Se debe actualizar la caracterización realizada por Servicios Comunales a los residuos generados en la Ciudad de Santa Clara, ya que la existente es del año 2005.
2. Realizar estudios ambientales que posibiliten conocer el impacto al medio ambiente de la tecnología seleccionada para el tratamiento de los residuos sólidos en la Ciudad de Santa Clara, así como su puesta en práctica.
3. En el caso de la Incineración se recomienda profundizar con estudios que impliquen una generación mayor de residuos a tratar y se justifique su utilización tanto económica como ambientalmente.

Bibliografía

- A.J, R. D. (2003) Analysis of Sectorial Solid Waste Evolution in Cuba 1997-2003.
- ABU QDAIS, H. A. H., M. F.; J.NEWHAM, (1997) ANALYSIS OF RESIDENTIAL SOLID WASTE AT GENERATOIN SITES. *Waste Management & Research*. . 4, 15, 395-405.
- ACUÑA, M. (1984) Manual Técnico para Construcción y Mantenimiento de Biodigestores. *INE*
- ALVAREZ, S. Y. C. (1975) Disposición de desechos sólidos en la ciudad de Las Tunas. La Habana. . *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 13.
- AMBIENTALES, D. D. E. E. I. (2002) Disposición final de residuos sólidos municipales
- AJ. (1997) Estrategia Ambiental Nacional.
- L,K. (1998) Estrategia Ambiental Provincia de Holguín.
- B.I.D (1997) Guía Para Evaluación de Impacto Ambiental Para Proyectos de Residuos Sólidos Municipales. Procedimientos Básicos. *Desarrollo*.
- BERDEA, K. (2008) Proyecto medioambiental sobre reutilización de la materia orgánica.
- BOCALANDRO, N. F., D; L. SOCOLOVSKY (2001.) *Biología II Polimodal Editorial Estrada*.
<http://www.scruz.gov.ar/recursos/educacion/opiaus01/>
<<http://www.scruz.gov.ar/recursos/educacion/opiaus01/>
- CANADA, M. O. N. R. (2005) Análisis de Proyectos de cogeneración. www.retscreen.net.
- CLARA, P. V. C. S. (2008) Datos estadísticos.
- COLOMBIA, M. D. M. A. D. (2002) Proyecto de Gestión Integral de Residuos Solidos (GIRS). Guía Practica de Formulación.
- D.P.D.S.C.D.L.C.D.L.H.L.D.A.D (2007) Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.
- DAMGHANI, A. M. (2007) Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges. *Waste Management*.
- MARIN,K(2009)ResiduosSólidos. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>.
- PATRIC. (2002) Biotechnical use of the fraction organic of urban residuals. San Luis. Argentina. *Best Practices Database*
- A,J (2003) Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos de la comunidad de San Marcos.
- DANIEL,A (2005-2006) Enciclopedia Universal Micronet. . <http://www.encyclopedia.net/#>
Acceso 30/05/09
- MARTIN (2005-2010) Programa de Residuos de Cantabria. www.medioambientecantabria.es.
- JONSHON (2007) Diseño de una Planta de Compostaje. www.ine.gob.mx.
- COUSO (Actualizado 2008) <http://www.ecuanex.apc.org/natura/quito/plan.htm>.
- O. T. D. (2008) Series Cronológicas de Demografía.
- GAITÁN MESA, F. A. (2006) Diseño y gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. *Trabajo de diploma*.
- GARRIGUES (2003) Manual para gestión de los residuos. *Medio Ambiente*.
- ING . KARIN SANTOS BONILLA, W. C. M. (08/05/09) Generación y Manejo de Gases en Sitios de Disposición Final. . www.ingenieriaquimica.org/usuario/wagner
<<http://www.ingenieriaquimica.org/usuario/wagner>
- ING., M. I. F. P. I. E. G. M. I. O. G. I. V. F. I. A. R. D. M. C. S. M. (2007) Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la zona litoral de la Bahía de La Habana.
- L.K, S. (2000) Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology.

- MA. DEL C. ESPINOSA LLORENS, M. L. T., HAYDEE ÁLVAREZ, ALEXIS PELLÓN ARRECHEA, JORGE ALEJANDRO GARCÍA, SUSANA DÍAZ AGUIRRE, ALEJANDRO FERNÁNDEZ (2007) Characterization of municipal solid waste from the main landfills of Havana city. . www.elsevier.com/locate/wasman.
- MALDONADO, A. J. Y. P. (2003) Aportes para el aprovechamiento de residuos sólidos en las comunidades de Mérida. www.ecoport.net.
- MARTÍNEZ NAVARRETE EDUARDO, M. F. (2003) PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DE COMPOST DE 100 T/DIA EN CIUDAD DE LA HABANA. *CICMA*.
- MEP, D. N. J. A. I. (2007) Estrategia Ambiental para el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en Villa Clara 2007 – 2010. Dirección Provincial de Servicios Comunes Villa Clara. .
- MERIZALDE HOYOS JUAN C., M. G. A., MUJICA MUÑOZ JULIÁN REYNALDO (2003) Manual para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) en Instituciones Educativas Escuela de Ingeniería de Antioquia Ingeniería Ambiental.
- MICHELLE ALLSOPP, P. C. Y. P. J. L. D. I. D. G. Informe Sobre Incineración Y Salud Humana. Estado Del Conocimiento De Los Impactos De Los Incineradores De Residuos En La Salud Humana. www.ambiente-ecologico.com. Universidad De Exeter, Reino Unido. .
- MIÑO., S. J. S. (2003) Conceptos y Aplicaciones. *ENERGÍAS RENOVABLES*.
- MONREAL., I. J. C. (1998) Gestión de Residuos Sólidos. Mesa Redonda OEA-CIID. . . *Mesa Redonda del Sector de Manejo de Residuos Sólidos en Salvador, Bahía*.
- MORALES, M. M. (2007) Diseño y gestión de las principales rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. *Trabajo de diploma*.
- NORA, T. S. M. A. F. Y. T. (1998) COMPOSTING PIG MANURE IN HONG KONG. *Biocycle* 2, 39.
- NC, I. O. N. D. (2007) Desechos Sólidos-Manejo de Desechos Sólidos de Instituciones de Salud-Requisitos Higiénico Sanitarios y Ambientales. NC 530:2007.
- NC, I. O. N. D. (2002a) Residuos Sólidos Urbanos. Almacenamiento, Recolección y Transportación. Requisitos Higiénico Sanitarios y Ambientales NC 133:2002.
- NC, I. O. N. D. (2002b) RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. TRATAMIENTO. REQUISITOS HIGIENICO SANITARIOS Y AMBIENTALES. NC 134: 2002.
- NÚÑEZ., J. A. D. (2009) Guía Metodológica para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, . *Trabajo de diploma para optar por la categoría de MSc en Ingeniería y Saneamiento Ambiental*. .
- OCARANZA., G. Q. D. L. T. G. W. J. S. G. A. L. V. A. N. (2003) La Basura en el Limbo:Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el manejo de Residuos Urbanos.
- OMS/OPS (2004) Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington, D.C. En <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/fulltext/informe/cap1.pdf>. 18/05/09.
- PEÑALOZA, H. C. (2005) Diseño y Operación de rellenos Sanitarios
- QUIMINET (2008) CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS COMPLETAS DE INCINERACIÓN DERESIDUOSSÓLIDOS.
Construcci%F3n+de+Plantas+Completas+de+Incineraci%F3n+de+residuos+s%F3lidos.htm.

- ROMERO, D. I. S. A. I. C. G. M. (2008) DIMENSIONAMIENTO. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES Y PLANTAS DE BIOGÁS. Manual Práctico de Diseño. Aqualimpia Beratende Ingenieure.**
- SARMENTO, M., D. DURAO, AND M. DUARTE (2005) Study of enviromental sustainability: The case of Portuguese polluting industries. *Energy*, 30(8), 1247-1257.**
- TANGRI, N. (2005) Incineración de residuos: una tecnología muriendo. Filipinas www.no-burg.org; www.noalaincineracion.org.**
- USA (2004.) Advanced technology to protect the environment. Hazardous Waste Resource Center. *Hazardous waste incineration*.**
- VC, D. P. D. S. C. C. P. D. H. Y. E. (2003) Estudio de los RSU en las 13 Localidades Cabeceras Municipales**
- VINASCO, J. P. S. (2008) Tecnologías del Biogas. *BioEnergyBerlin*.**
- WEHENPOHL (2002) Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. *Gestión de Residuos Sólidos Municipales OPS/OMS*.**

GLOSARIO

En este documento, los siguientes términos tienen la acepción que se les ha asignado en su correspondiente definición.

BASURA: Sinónimo de residuos sólidos municipales y de desechos sólidos.

BIOGAS: Mezcla de gases producidos por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos, compuesta principalmente de metano y dióxido de carbono.

COMPOST: Abono orgánico obtenido por la descomposición aerobia de los residuos orgánicos, específicamente poda de árboles y trabajos de jardinería.

BOTADERO: Lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada sin recibir ningún tratamiento sanitario. Sinónimo de vertedero o vaciadero.

CARRO PICKERS: Vehículo que utilizan los barrenderos para el traslado del acopio del barrido.

CONCESION: Otorgamiento oficial, gubernamental o municipal, a favor de individuos o empresas privadas para la prestación parcial o total de los servicios de aseo urbano.

CONTENEDOR: Recipiente de capacidad variable empleado para el almacenamiento de residuos sólidos.

DESECHO SÓLIDO: Sinónimo de residuos sólidos municipales y de basura.

DESPERDICIO: Residuo sólido o semisólido de origen animal o vegetal, sujeto a putrefacción, proveniente de la manipulación, preparación y consumo de alimentos.

ESTABLECIMIENTO DE SALUD: Lugar, sitio o instalación donde se llevan a cabo actividades relacionadas con la atención de la salud humana o animal.

GESTION: Referido al manejo o administración. Véase manejo.

LIXIVIADO: Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos. Sinónimo de percolado.

LODO: Líquido con gran contenido de sólidos en suspensión, proveniente del tratamiento de agua, de aguas residuales o de otros procesos similares.

MANEJO: Conjunto de operaciones dirigidas a darle a los residuos el destino más adecuado de acuerdo a sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos a la salud humana o al ambiente. Incluye el almacenamiento, barrido de calles y áreas públicas, recolección, transferencia, transporte, tratamiento, disposición final o cualquier

otra operación necesaria.

PERCOLADO: Sinónimo de lixiviado.

RECICLAJE: Proceso mediante el cual los materiales segregados de los residuos son reincorporados como materia prima al ciclo productivo.

RECOLECCIÓN SELECTIVA (RS): Es cuando existe una recolección y transporte diferenciado para distintas áreas de trabajo

RELLENO DE SEGURIDAD: Relleno sanitario destinado a la disposición final adecuada de los residuos industriales o peligrosos.

RELLENO SANITARIO: Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales; comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente y el control de los gases, lixiviados, y la proliferación de vectores, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

RESIDUO SÓLIDO MUNICIPAL: Residuo sólido o semisólido proveniente de las actividades urbanas en general. Puede tener origen residencial o doméstico, comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión es responsabilidad de la municipalidad o de otra autoridad del gobierno. Sinónimo de basura y de desecho sólido.

RESIDUO PELIGROSO: Residuo sólido o semisólido que por sus características tóxicas, reactivas, corrosivas, radiactivas, inflamables, explosivas o patógenas, plantea un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al ambiente cuando su manejo se hace, autorizada o clandestinamente, en forma conjunta con los residuos sólidos municipales.

RESIDUO SÓLIDO DOMICILIARIO: Residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento similar.

RESIDUO SÓLIDO COMERCIAL: Residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.

RESIDUO SÓLIDO INSTITUCIONAL: Residuo generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreas, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otros.

RESIDUO SÓLIDO INDUSTRIAL: Residuo generado en actividades industriales, como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipo e instalaciones y

tratamiento y control de la contaminación.

RESIDUO SÓLIDO PATÓGENO: Residuo que por sus características y composición puede ser reservorio o vehículo de infección a los seres humanos.

RESIDUO SÓLIDO TOXICO: Residuo que por sus características físicas o químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, puede causar daño y aún la muerte a los seres vivos o puede provocar contaminación ambiental.

RESIDUO SÓLIDO COMBUSTIBLE: Residuo que arde en presencia de oxígeno por acción de una chispa o de cualquier otra fuente de ignición.

RESIDUO SÓLIDO INFLAMABLE: Residuo que puede arder espontáneamente en condiciones normales.

RESIDUO SÓLIDO RADIATIVO: Residuo que emite radiaciones electromagnéticas en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo

RUTA: Recorrido que realiza el carro para recoger la basura.

SEGREGACION: Actividad que consiste en recuperar materiales reusables o reciclables de los residuos.

SEGREGADOR: Persona que se dedica a la segregación de la basura y que tiene diferentes denominaciones en los países de la Región: "cirujas" en Argentina; "buzos" en Bolivia; "catadores" en Brasil; "cachureros" en Chile; "basuriegos" en Colombia; "buzos" en Cuba, Costa Rica y República Dominicana; "chamberos" en Ecuador; "guajeros" en Guatemala; "pepenadores" en México; "cutreros" en Perú; "hurgadores" en Uruguay.

SERVICIO DE ASEO URBANO: El servicio de aseo urbano comprende las siguientes actividades relacionadas al manejo de los residuos sólidos municipales: almacenamiento; presentación; recolección; transporte; transferencia; tratamiento; disposición sanitaria; barrido y limpieza de vías y áreas públicas; recuperación y reciclaje.

SUPIADERO: Estación de transferencia de residuos sólidos urbanos muy rudimentaria, se creó con el objetivo de acopiar los residuos provenientes de los edificios multifamiliares, que no tengan servicio de recogida interno.

TRATAMIENTO: Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial y del cual se puede generar un nuevo residuo sólido con características diferentes.

VERTEDERO: Sinónimo de botadero o vaciadero a cielo abierto.

VECTOR: Comprende a las moscas, mosquitos, roedores y otros animales que pueden transmitir directa o indirectamente, enfermedades infecciosas a huma

ANEXOS

ANEXO I. Tiempo de Descomposición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

Material	Tiempo de descomposición
Papel periódico	1 mes
Trozos de telas	4 meses
Fósforo de madera	8 meses
Basura orgánica	8-12 meses
Trozos de madera	4años
Chicles	5años
Tapas corona de bebidas gaseosas	5años
Electrodomésticos	10 años
Una pila	50 años
Juguetes de plástico	100 años
Envases de aluminio	500 años
Envases de plástico	500 años
Vidrios	3000 años

Elaboración propia

ANEXO II. Residuos Sólidos por clase, composición y fuente.

CLASE	COMPOSICIÓN O NATURALEZA	ORIGEN O FUENTE
Basura	Residuos de la preparación de comidas en viviendas y centros públicos. Provenientes de la limpieza.	De viviendas, edificios, instituciones y comercios, como hoteles, restaurantes y mercados.
Barreduras Residuos mixtos	<u>Combustible</u> (principalmente orgánicos): papel, cartón, madera, cajas plásticas, telas, cuero, gomas, yerbas, hojas. <u>No combustibles</u> (Principalmente inorgánicos) metales, latas, zinc, polvo, ladrillos, cerámicas, vidrio, botellas, otros.	De viviendas, instituciones, industrias, comercios, calles avenida, carretera.
Cenizas	Residuos de fuegos	Cocinas, hornos, calderas, incineradores, etc.
Residuos en bultos	Partes de autos, gomas, hornos, aparatos domésticos, muebles, ramas, follajes	De las calles, solares, talleres, viviendas, instituciones, sitios de vacaciones.
Barrido	Polvos, hojas, papeles, receptáculos	Barrido de calles y avenidas principalmente, carreteras.
Animales muertos	Animales pequeños principalmente perros, gatos, aves. Animales grandes (caballos, vacas, etc.)	De la calle, aceras, carreteras, viviendas, instituciones, sitios de vacaciones.
Vehículos abandonados	Automóviles, camiones, etc.	Calles, avenidas, carreteras
Construcción y demolición	Madera, tejas, cubos, concreto, yeso, arena.	De edificios, vías
Industriales	Del proceso industrial, de alimentos, calderas, madera, plásticos, metales.	De fabricas, plantas de fuerzas, etc.

Fuente: NC 133 /2002

ANEXO III. Resumen de legislaciones cubanas vigentes sobre residuos sólidos.

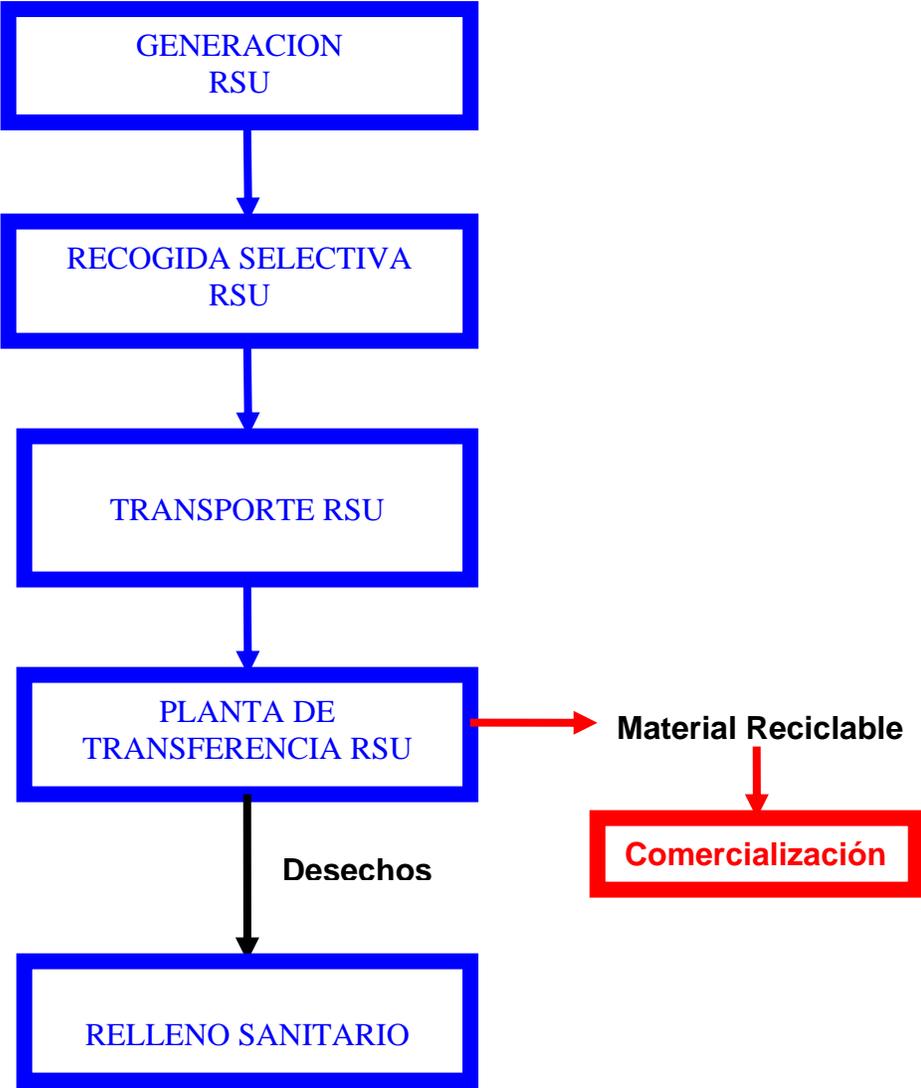
Categoría	Número	Fecha	Nombre	Descripción
Ley	No. 288	14.01.1975		Sobre recuperación de materias primas. Dispone que los organismos y demás dependencias del Estado están en la obligación de recolectar los desechos de materias primas, productos y materiales reutilizables que no son aprovechados en los procesos de producción o servicios, con el objetivo de ser recuperados con los fines que se determinan.
Ley	No. 41	15.08.1987	Ley de Salud Pública	
Ley	No. 59	15.10.1987	Código Civil	Establece la responsabilidad civil por daños al medio ambiente. Modificado por el Decreto-Ley No. 140/1993.
Ley	No. 81	11.07.1997	Ley de Medio Ambiente	Tiene como objeto establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado, y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, con el fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país. Dentro de los proyectos de obras o actividades que deben ser sometidas a una evaluación de impacto ambiental, detallados en los artículos 28 y 29, se encuentran instalaciones destinadas al manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de desechos peligrosos (párrafo d) y rellenos sanitarios (párrafo u).
Decreto Ley	No. 54	23.04.1982		Dicta normas generales que orienten las actividades de control higiénico sanitario y epidemiológico a cargo del MINSAP.
Decreto	No. 123	30.03.1984		Define las conductas que se consideran contravenciones en materia de ornato público y establece las medidas administrativas para sancionarlas.
Decreto	No. 201	28.06.1995		Establece las conductas que constituyen contravenciones respecto al ornato público y la higiene comunal en la Ciudad de La Habana, así como el régimen de sanciones administrativas a aplicar por estas infracciones.

CONTINUACIÓN

Acuerdo	No. 113 (CECM)	07.06.1977	Reglamento de ornato e higiene para la ciudad. Establece regulaciones adecuadas a las características de la Ciudad de La Habana, que hagan posible mantener el nivel de ornato e higiene que correspondiente a la capital.
Resolución	No. 15 (CITMA)	26.04.1996	Regulaciones para el ejercicio de las funciones de autoridad nacional y de punto de contacto del Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación y otras disposiciones para la gestión ambientalmente racional de estos desechos.
Circular	No. 12 (CECM)	22.01.1999	Plan integral de higienización ambiental y participación en el mantenimiento de la higiene y el ornato público.
Resolución	No. 168 (CITMA)	09.10.1995	Reglamento para la realización y aprobación de las evaluaciones de impacto ambiental y el otorgamiento de las licencias ambientales. Establece el procedimiento por el cual han de efectuarse las evaluaciones de impacto ambiental y el trámite para su aprobación, así como lo pertinente para la emisión de licencias ambientales.
Resolución	No. 211 (MITRANS)	21.08.1997	Declara el reglamento para el manejo y disposición final de la basura de los buques.
Norma Cubana	NC 133	2002	Residuos Sólidos Urbanos -Almacenamiento, Recolección y Transportación. Requisitos Higiénico Sanitarios y Ambientales
Norma Cubana	NC134	2002	Residuos Sólidos Urbanos. Tratamiento. Requisitos Higiénico Sanitarios y Ambientales
Norma Cubana	NC 135	2002	Residuos Sólidos Urbanos Disposición Final Requisitos Higiénico Sanitarios y Ambientales

Elaboración propia

ANEXO IV: Diagrama de la Alternativa A1.



ANEXO V. Tipos de contenedores utilizados en la Recogida Selectiva. Materiales depositados.

Contenedores		
Color	Capacidad	Función
Azul	0.36m ³	Será usado para depositar los cartones de cajas, así como los periódicos, revistas y en general, cualquier otro desecho que tenga que ver con el papel y el cartón. Este contenedor es de gran importancia, ya que el papel es uno de los desechos de mayor potencial de reciclado a nivel mundial, y puede ser re-usado una gran cantidad de veces a través de los procesos tradicionales de recuperación.
Amarillo	0.36m ³	En este se deben depositar envases de plástico (botellas de detergentes, aceites, bebidas...), latas (de refrescos, cerveza, conservas...) y envases tipo <i>tetra brick</i> o <i>tetra pak</i> (cartones de leche, jugo, caldo...). Las latas de aluminio y las botellas de plástico también constituyen a los desechos de alto potencial de reciclado, debido a que estos pueden ser fundidos para volverse a fabricar de nuevo.
Verde	0.36m ³	Se deben depositar los envases de vidrio (botellas, frascos, etc). Después del relleno o reutilización, el reciclaje es la mejor opción para el vidrio, ya que este es reciclable al 100%, pero siempre teniendo en cuenta que el de las ventanas, bombillas o focos, fluorescentes o fragmentos de vitrocerámica son fabricados con mezclas de varios materiales, por lo que es imposible reciclarlo con el vidrio ordinario.
Rojo	0.36m ³	Este contenedor no cumple ninguno de los lineamientos establecidos internacionalmente, debido a que en este es donde se colocan todos los desechos que tienen un potencial de reciclado muy bajo o que son muy difíciles de reciclar, pero que, sin embargo, se colocan aquí para la división de los mismos con los demás residuos. En estos han de colocarse desechos como las pilas, aceites, metales, computadoras, electrodomésticos, entre otros. En general, se trata de centros de recogida de residuos peligrosos para los que no existe un contenedor específico. En ellos se puede dejar todo tipo de productos sin ningún coste evitando así, contaminar el planeta.
Blanco	1.0m ³	Se han de depositar todos los desechos orgánicos, tales como restos de comida, desechos de jardinería, y cualquier otro desecho que pueda servir para los procesos de digestión anaerobia y compostaje. Este contenedor tampoco se encuentra establecido bajo alguna normativa legal, por lo que se le podría considerar como una nueva tentativa.

Elaboración propia

ANEXO VI: Equipamiento utilizado en la Alternativa A1.

RECOGIDA SELECTIVA

No	Equipos	Cantidad	Capacidad	Precios	Costos (\$)
1	Bolsas de nylon	1125000	40x60x50	94.61\$/millar	106436.25
2	Contenedores	2120	0.36m ³	28.78\$/u	61013.6
3	Contenedores	530	1m ³	133.24\$/u	70617.2
4	Carros Especializados Dowfen	6	60m ³	80000\$/carro	480000
Total					718067.05

Fuente: Empresa Militar Industrial (EMI); Transimport, Dptos. Comerciales

PLANTA DE TRANSFERENCIA

No	Equipos	Cant	Cap	Cons de potencia (kW)	Precios (\$)	FA	Costos (\$)
1	Balanza electrónica para camiones	1	30t	3	12000	1.3	15600
2	Tolva de recepción	1	40 t/turno	-	949.2	1.3	1233.96
3	Cinta de elevación	1		5	9050	1.3	11765.0
4	Desgarrador de bolsas	1		5	4050	1.3	5265.0
5	Cinta de clasificación	1		5	23119	1.3	30054.7
6	Separador magnético	1		5	4000	1.3	5200.0
7	Carros volcadores plataforma	7	0.5 m ³	-	100	1.3	910.0
8	Prensa de papel y cartón	1	20t	7.5	8000	1.3	10400
9	Prensa de aluminio y hierro	1	7.5t	7.5	8000	1.3	10400
10	Triturador de vidrio	1	5t	2.2	4500	1.3	5850.0
11	Contenedores	10	1m ³	-	133.24	-	1132.4
12	Contenedores	6	0.36m ³	-	28.78	-	172.68
Total							97983.74

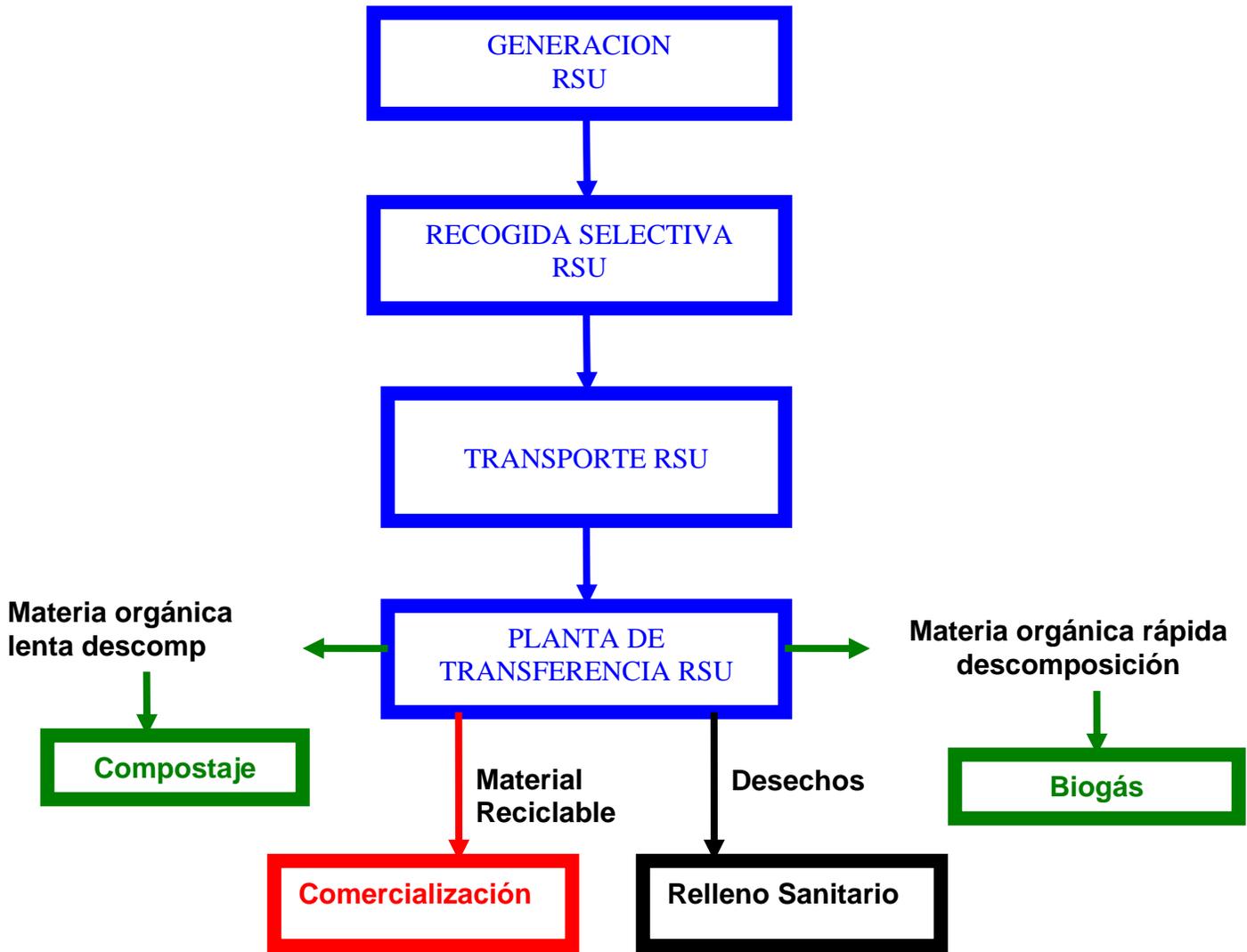
Fuente: Tecnología DEISA 2003. Empresa Militar Industrial

Factor de Actualización (FA) (2003;2007)

Inversión Relleno Sanitario (\$1100533.2)

Fuente: (Peñaloza, 2005; 2007)

ANEXO VII: Diagrama de la Alternativa 2.



ANEXO VIII: Equipamiento utilizado en la Alternativa A2.

RECOGIDA SELECTIVA

No	Equipos	Cantidad	Capacidad	Precios	Costos (\$)
1	Bolsas de nylon	1125000	40x60x50	94.61\$/millar	106436.25
2	Contenedores	2120	0.36m ³	28.78\$/u	61013.6
3	Contenedores	530	1m ³	133.24\$/u	70617.2
4	Carros Especializados Dowfen	6	60m ³	80000\$/carro	480000
Total					718067.05

Fuente: Empresa Militar Industrial (EMI); Transimport, Dptos. Comerciales

PLANTA DE TRANSFERENCIA

No	Equipos	Cant	Cap	Cons de potencia (kW)	Precios (\$)	FA	Costos (\$)
1	Balanza electrónica para camiones	1	30t	3	12000	1.3	15600
2	Tolva de recepción	1	40 t/turno	-	949.2	1.3	1233.96
3	Cinta de elevación	1		5	9050	1.3	11765.0
4	Desgarrador de bolsas	1		5	4050	1.3	5265.0
5	Cinta de clasificación	1		5	23119	1.3	30054.7
6	Separador magnético	1		5	4000	1.3	5200.0
7	Carros volcadores plataforma	7	0.5 m ³	-	100	1.3	910.0
8	Prensa de papel y cartón	1	20t	7.5	8000	1.3	10400
9	Prensa de aluminio y hierro	1	7.5t	7.5	8000	1.3	10400
10	Triturador de vidrio	1	5t	2.2	4500	1.3	5850.0
11	Contenedores	10	1m ³	-	133.24	-	1132.4
12	Contenedores	6	0.36m ³	-	28.78	-	172.68
Total							97983.74

Fuente: Tecnología DEISA 2003. Empresa Militar Industrial

Factor de Actualización (FA) (2003;2007)

Continuación

PLANTA DE BIOGAS

No	Equipos	Cant	Cap	Cons de potencia (kW)	Costos (\$)
1	Molino de martillos para orgánicos	1	4t/h	2.2	20000
2	Tanque Colector Agitado	1	145m ³	1.3	6012.6
3	Tanque de Hidrólisis Agitado	1	225m ³	10	7515.6
4	Digestor Anaerobio Agitado	1	1500m ³	13	15656.9
5	Tanque de Separación	1	75m ³	-	8417.5
6	Tanque de Almacenamiento de Líquido	1	100m ³	-	1464
7	Tanque de Almacenamiento de Sólido	1	240m ³	-	6952.5
8	Torre de Desulfuración	1	7.5m ³	-	10822.9
9	Tanque de Almacenamiento de Gas Metano	1	525m ³	-	20492.5
10	Cogenerador	1	7.5MW	-	96200
10	Bombas de Fluidos	3	-	2.2	5666.2
Total					210533.1

Fuente: Tecnología BioEnergyBerlin(BEB) 2008

PLANTA DE COMPOSTAJE

No	Equipos	Cant	Cap	Precios (\$)	FA	Costos (\$)
1	Tractor con pala volteadora	1	1m ³	9000	1.3	11700
2	Grúa viajera	1	2m ³ /viaje	68006	1.3	88407.8
3	Molino de orgánicos (2.2kW)	1	4t/h	20000	-	20000
4	Contenedores	10	0.36m ³	28.78\$/u	-	287.8
Total						120395.6

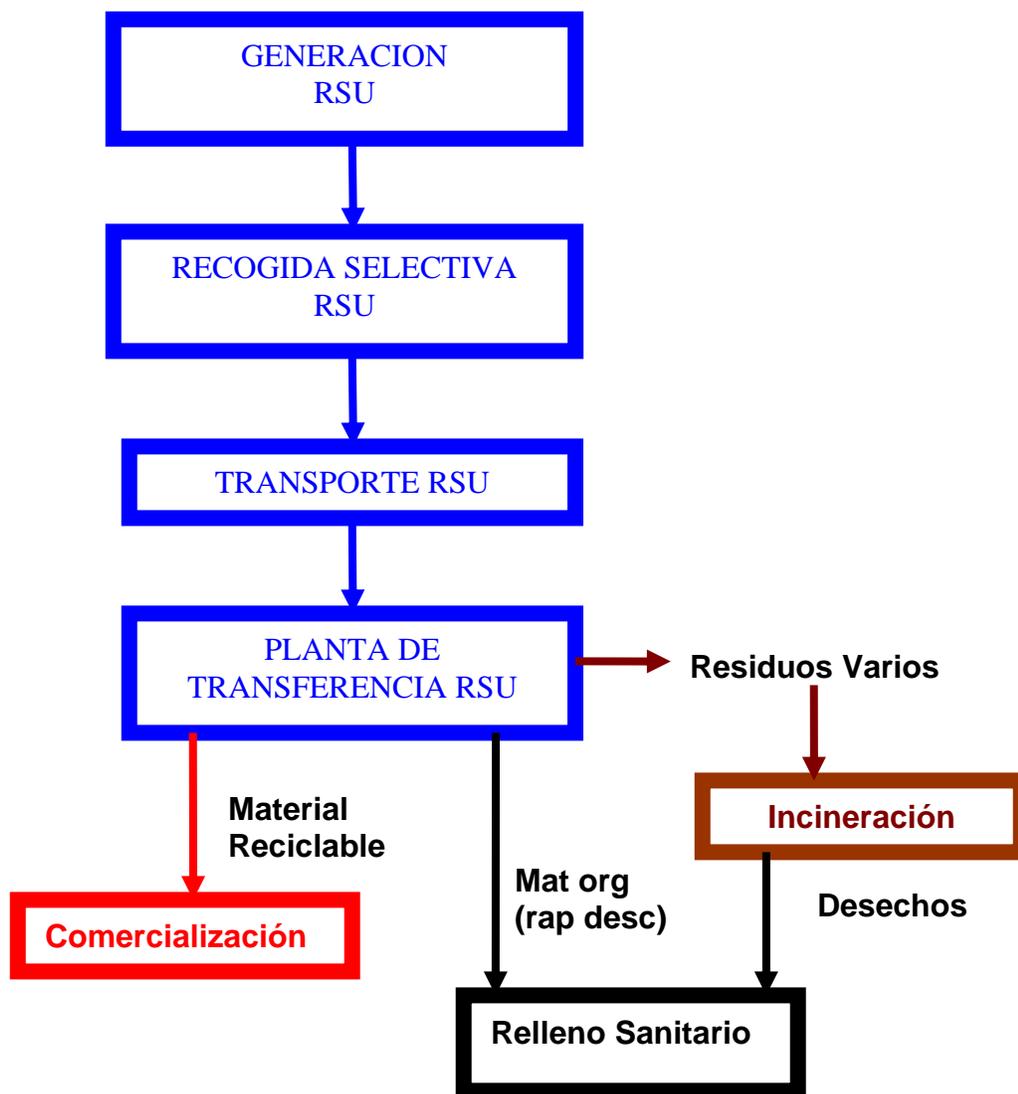
Fuente: Tecnología DEISA 2003. Empresa Militar Industrial

Factor de Actualización (FA) (2003;2006;2007)

Inversión Relleno Sanitario (\$1100533.2)

Fuente: (Peñaloza, 2005;2007)

ANEXO IX: Diagrama de la Alternativa A3.



ANEXO X: Equipamiento utilizado en la Alternativa A3.

RECOGIDA SELECTIVA

No	Equipos	Cantidad	Capacidad	Precios	Costos (\$)
1	Bolsas de nylon	1125000	40x60x50	94.61\$/millar	106436.25
2	Contenedores	2120	0.36m ³	28.78\$/u	61013.6
3	Contenedores	530	1m ³	133.24\$/u	70617.2
4	Carros Especializados	6	60m ³	80000\$/carro	480000
Total					718067.05

Fuente: Empresa Militar Industrial (EMI); Transimport, Dptos. Comerciales

PLANTA DE TRANSFERENCIA

No	Equipos	Cant	Cap	Cons de potencia (kW)	Precios (\$)	FA	Costos (\$)
1	Balanza electrónica para camiones	1	30t	3	12000	1.3	15600
2	Tolva de recepción	1	40 t/turno	-	949.2	1.3	1233.96
3	Cinta de elevación	1		5	9050	1.3	11765.0
4	Desgarrador de bolsas	1		5	4050	1.3	5265.0
5	Cinta de clasificación	1		5	23119	1.3	30054.7
6	Separador magnético	1		5	4000	1.3	5200.0
7	Carros volcadores plataforma	7	0.5 m ³	-	100	1.3	910.0
8	Prensa de papel y cartón	1	20t	7.5	8000	1.3	10400
9	Prensa de aluminio y hierro	1	7.5t	7.5	8000	1.3	10400
10	Triturador de vidrio	1	5t	2.2	4500	1.3	5850.0
11	Contenedores	10	1m ³	-	133.24	-	1132.4
12	Contenedores	6	0.36m ³	-	28.78	-	172.68
Total							97983.74

Fuente: Tecnología DEISA 2003. Empresa Militar Industrial

Factor de Actualización (FA) (2003;2007)

Inversión Sistema de Incineración (\$10382000)

Fuente: (QuimiNet, 2008)

Inversión Relleno Sanitario (\$1100533.2)

Fuente: (Peñaloza, 2005; 2007)