

Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ingenierías Química y Mecánica

Departamento de Química e Ingeniería Química



Trabajo de Diploma

Título: Propuesta de mejora para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Autor: Osmany Marrero Chávez

Tutor: Dr.C Lourdes Yamén González Sáez

Cotutor: MsC. Damaris González Rodríguez

Matanzas, 2010

.....DEDICATORIA:

DEDICATORIA:

A mi familia y amigos, fuente de inspiración

.....AGRADECIMIENTOS:

AGRADECIMIENTOS:

A mi tutora por brindarme todo el tiempo y el apoyo necesario en la realización de este trabajo.

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

A las especialistas del Laboratorio de Monitoreo Costero del CITMA: Mariela Almeida y Yohandra Armas.

A Víctor Hernández y Osmany Sánchez por contribuir a la realización de este trabajo.

A mis compañeros del grupo por su inestimable y siempre oportuno apoyo

A los que han seguido de cerca este trabajo y han influido en mi formación como Ingeniero Químico y Medio Ambiental

A todos,

¡MUCHAS GRACIAS!

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Tribunal

Tribunal

Tribunal

Ciudad

Fecha

Calificación

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy el único autor de este trabajo de Tesis de grado, y autorizo a la Facultad de Ingenierías Química - Mecánica de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", a que haga uso parcial o total del mismo, con la finalidad que estime conveniente

Resumen

En este trabajo se estudia el sistema de Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” (UMCC). El análisis se sustentó en un diagnóstico basado en un estudio de percepción a partir de la aplicación de encuesta para conocer el criterio de estudiantes, trabajadores y expertos de la institución, así como la caracterización y cuantificación de la generación de los residuos. Los resultados de este diagnóstico permitió definir que estos residuos presentan una composición estándar, aunque no es la fracción de papel y cartón la más representada como se esperaba por el objeto social de la institución. Además se pudo calificar de no adecuado el sistema de gestión actual. Esta valoración conllevó a la propuesta de alternativas y la selección de la más factible desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. La alternativa seleccionada corresponde a la inclusión de la recogida selectiva de las fracciones recuperables (papel/cartón, metal, vidrio, plástico y latas de aluminio) y la producción de compost en el sistema de Gestión de los RSU en la Universidad, para ser comercializadas. El resto de los residuos serán evacuados en el vertedero municipal. Esta propuesta arrojó un VAN positivo de 8 410 299,11 \$ y un PRI de 0,09 años lo que corrobora la factibilidad económica de efectuarla.

Abstract

In this work the system of Administration of the Urban Solid Residuals (RSU) is studied in the University of Matanzas "Camilo Cienfuegos" (UMCC). The analysis was sustained in a diagnosis based on a study of perception from the survey application to know the approach of students, workers and experts of the institution, as well as the characterization and quantification of the generation of the residuals. The results of this diagnosis allowed to define that these residuals present a standard composition, although it is not the paper fraction and cardboard the more represented as was expected by the social object of the institution as was expected by the social object of the institution. could also qualify of not appropriate the system of current administration. This valuation bore to the proposal of alternative and the selection of the most feasible from the technical, economic and environmental point of view. The selected alternative corresponds to the inclusion of the selective collection of the recoverable fractions (papel/cartón, metal, glass, plastic and aluminum cans) and the compost production in the system of Administration of the RSU in the University, to be marketed. The rest of the residuals will be evacuated in the municipal drain. This proposal hurtled a they GO positive of 8 410 299,11 \$ and a PRI 0,09 years what corroborates the economic feasibility.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Análisis Bibliográfico.....	5
1.1. Residuos Sólidos. Conceptos Generales.....	5
1.1.1. Origen de los residuos sólidos.....	5
1.1.2. Evolución de la gestión de los residuos sólidos.....	6
1.2. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	7
1.2.1. Clasificación.....	7
1.2.2. Composición.....	8
1.2.3. Muestreo.....	8
1.2.4. Propiedades.....	10
1.2.4.1. Propiedades físicas.....	10
1.2.4.2. Propiedades químicas.....	13
1.2.4.3. Propiedades biológicas.....	14
1.3. Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.....	15
1.3.1. Gestión negativa.....	17
1.3.2. Gestión positiva.....	19
1.3.2.1. Reciclaje de materiales de los residuos sólidos.....	20
1.4. Tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos.....	21
1.4.1. Tratamiento.....	21
1.4.2. Disposición final.....	24
1.4.2.1. Rellenos sanitarios.....	25
1.4.2.2. Vertederos.....	26
1.4.2. La Producción Más Limpia.....	26
Capítulo 2. Metodología de la Investigación.....	28
2.1. Análisis Bibliográfico.....	29
2.2. Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos.....	29
2.2.1. Estudio de Percepción.....	29
2.2.1.1. Percepción de la comunidad universitaria.....	29
2.2.2. Cuantificación y caracterización de los residuos sólidos en la UMCC.....	30
2.2.2.1. Muestreo de los residuos sólidos.....	30
2.2.2.2. Cuantificación de los residuos sólidos.....	31
2.2.2.3. Caracterización de los residuos sólidos.....	31
2.2.2.4. Caracterización estadística.....	32
2.3. Valoración del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos.....	33
2.3.1. Descripción y valoración de las etapas de la gestión de los residuos sólidos de la UMCC.....	33
2.3.2. Identificación de los problemas asociados a la gestión de los residuos sólidos de la UMCC.....	34
2.3.3. Puntos de evacuación y recogida.....	34
2.4. Análisis técnico-económico y ambiental de alternativas.....	35
2.4.1. Análisis técnico-económico y selección de alternativas.....	35
2.4.2. Valoración de la repercusión ambiental de alternativa.....	37
Capítulo 3. Resultados y discusión.....	38
3.1 Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.....	38

3.1.1 Descripción físico geográfica y social de la institución.....	38
3.1.2 Estudio de Percepción.....	39
3.1.2.1 Percepción de la comunidad universitaria.....	39
3.1.3 Cuantificación y Caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos de la UMCC.....	42
3.1.3.1. Cuantificación de los Residuos Sólidos Urbanos.....	42
3.1.3.1. a. Análisis estadístico de la cuantificación de los residuos sólidos de la UMCC.....	48
3.1.3.2. Caracterización de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.....	49
3.1.3.2. a. Análisis estadístico de la caracterización de los residuos sólidos de la UMCC.....	53
3.2. Análisis del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos (SGRS) en la UMCC.....	54
3.2.1. Etapas de la gestión de los residuos sólidos en la UMCC.....	54
3.2.1.1. Generación y Almacenamiento de los residuos sólidos.....	54
3.2.1.2. Recolección y transportación de residuos sólidos.....	56
3.2.1.3. Tratamiento de residuos sólidos.....	58
3.2.1.4. Disposición final.....	58
3.2.2. Identificación de los Problemas Ambientales relacionados con la gestión de los residuos sólidos en la UMCC.....	59
3.2.3. Puntos de evacuación y recogida.....	63
3.3. Valoración técnico-económica y ambiental de alternativas de gestión.....	66
3.3.1. Propuesta técnica de alternativas de gestión de los residuos sólidos de la UMCC.....	67
3.3.1.1. Recuperación: Recogida selectiva en el origen.....	69
3.3.1.1. a. Macro-localización y requerimientos técnicos de la recuperación.....	69
3.3.1.1. b. Capacidad de la estación de transferencia.....	70
3.3.1.1. c. Costos de inversión para la etapa de recuperación:.....	70
3.3.1.2. Tratamiento: Producción de compost.....	71
3.3.1.2. a. Macro-localización y requerimientos técnicos del tratamiento.....	71
3.3.1.2. b. Costos de inversión para la etapa de tratamiento:.....	73
3.3.1.3. Eliminación: vertedero municipal.....	73
3.3.1.3. a. Macro-localización y requerimientos técnicos de la eliminación.....	74
3.3.1.3. b. Costos de inversión para la etapa de eliminación.....	75
3.3.2. Análisis económico de alternativas.....	75
3.3.2.1. Costo de inversión:.....	76
3.3.2.2. Los Ingresos.....	78
3.3.2.3. Costos de producción.....	78
3.3.2.3. a. Volumen de producción: Generación actual de los residuos sólidos.....	79
3.3.2.3. b. Costo de Materia Prima.....	80
3.3.2.3. c. Costos de producción/operación.....	81
3.3.3. Valoración de la repercusión económica, ambiental y social de la propuesta.....	83
Conclusiones.....	85
Recomendaciones.....	86
Bibliografía.....	87
Anexos	

Introducción

Durante milenios las comunidades humanas han generado basura, pero pocos residuos derivados de una actividad productiva socialmente organizada. No se percibía que el amontonamiento de desperdicios en las calles generara un problema social, aunque sus consecuencias sí lo hicieran. No fue hasta el siglo XIX que esta acción favoreció la propagación de grandes epidemias. Con la industrialización, la sociedad ya no pudo soslayar un problema que, si bien empezó por dañar la salubridad urbana, en pocos decenios acabó por afectar todo el medio ambiente y cuya solución requiere técnicas avanzadas, ya sea para eliminar los residuos, ya sea para reducir su volumen. Sin embargo, la creciente generación de residuos no es lo que más preocupa a ingenieros, proyectistas y gestores, sino las dificultades para ubicar emplazamientos adecuados para depositarlos, es decir, los inconvenientes asociados a la localización adecuada de depósitos de vertido controlado (Tchobanoglous, 2007).

La gestión de residuos sólidos se define como “la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos de una forma que armonice con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también, responde a las expectativas públicas” (Tchobanoglous, 2007).

Desde 1988, año en que se produjo la desintegración del campo socialista, Cuba comenzó a sufrir una fuerte crisis económica (Período Especial en Tiempos de Paz). A partir de esa fecha las disponibilidades financieras del Estado han sido muy reducidas, por lo que se han destinado a la solución de los problemas vitales para la población. Esta situación influyó también en la actividad ambiental, pues se carece de fondos para garantizar los niveles adecuados de tratamiento de los residuos, dificultades para la recogida y procesamiento de los desechos sólidos. La coyuntura actual demanda una concepción integral del desarrollo sostenible, entendido como un proceso donde las políticas de desarrollo se entrelazan con las exigencias de la protección del medio ambiente y el uso de los recursos

naturales en un marco de justicia y equidad social. Esta concepción está diseminada por todo el país de forma que cada territorio y provincia tienen definida su estrategia ambiental. La provincia de Matanzas no se encuentra, por tanto, al margen de este accionar y ya en 1998 se aprueba la Estrategia Ambiental Provincial (CITMA, 2007). En la Estrategia vigente se identifican los principales problemas medioambientales del territorio y la proyección para valorarlos y darles solución.

El deterioro del saneamiento y las condiciones ambientales en asentamientos humanos constituye uno de los principales problemas ambientales detectados, el cual repercute en la actividad socioeconómica de la provincia. Este deterioro está condicionado, entre otros aspectos por insuficiencias en la recolección y disposición de los desechos sólidos, problema que muestra serias afectaciones debido a restricciones con el parque automotor y con la disponibilidad de depósitos para la recolección de la basura. Existen, además, deficiencias en el estado higiénico-sanitario de los vertederos y su protección adecuada, así como la incorrecta recolección y disposición de los residuos hospitalarios que en muchas ocasiones se recolectan con la basura domiciliaria y constituyen un riesgo para la salud ocasionando la proliferación de vectores (CITMA, 2007).

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 las características locales, en tanto que su operación debe basarse en los recursos comunales, económicos y técnicos (Tchobanoglaus, 2007).

El Centro de Estudios de Medio Ambiente de Matanzas (CEMAM) de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" (que en lo adelante se nombra UMCC o Universidad) tiene dentro de su misión: *Asesorar las actividades ambientales de la UMCC para contribuir al desarrollo sostenible del centro y del*

Territorio mediante la Formación y Superación Profesional y el desarrollo de investigaciones que conlleven a la solución de los problemas ambientales y toma de decisiones eficientes. Con el fin de dar cumplimiento a su misión, el CEMAM apoyado en los especialistas, colaboradores y en la Sociedad Científico Estudiantil realizó el Diagnóstico Ambiental de la Universidad para conocer los problemas que afectan la calidad de vida de la comunidad universitaria. Dentro de los problemas detectados en el Diagnóstico Ambiental se encuentra que la totalidad de los residuos sólidos que se generan no cuenta con el tratamiento y la disposición adecuada. La Universidad genera un volumen de residuos sólidos que son recogidos y descargados en un vertedero incontrolado a cielo abierto que se encuentra en la propia área universitaria localizado en un extremo de la misma a una distancia relativamente pequeña de las instalaciones, método de gestión que se considera incorrecto.

Todo lo anterior permitió definir **como Problema científico:** La Inadecuada gestión y disposición final de los residuos sólidos en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Para dar solución a dicho problema se plantea la **Hipótesis:** Si proponen alternativas que permitan mejorar la gestión integral de los residuos sólidos en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” se logrará minimizar los problemas de contaminación asociada a su gestión y disposición final.

Todo lo anterior permite definir como **Objetivo General:** Proponer y seleccionar la alternativa técnica, económica y ambientalmente factible que permita mejorar la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Objetivos Específicos:

- Diagnosticar el sistema de gestión actual de los residuos sólidos de la Universidad de Matanzas.
- Proponer el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos adecuado para la Universidad de Matanzas.

- Valorar y seleccionar técnica y económicamente las alternativas para mejorar el Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos de la Universidad de Matanzas.
- Valorar la repercusión ambiental de la alternativa seleccionada.

Para dar cumplimiento a los objetivos se diseñan las siguientes **Tareas de investigación:**

- Diagnóstico del sistema de gestión actual de los residuos sólidos de la Universidad de Matanzas.
 - Encuestas a estudiantes, trabajadores, dirigentes y expertos de la UMCC.
 - Cuantificación de los Residuos Sólidos Urbano.
 - Caracterización de los Residuos Sólidos Urbano.
- Propuesta del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos adecuado para la Universidad de Matanzas.
 - Descripción y análisis de las actividades de la gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos de la UMCC (recogida, transporte, selección, almacenamiento, etc.).
 - Selección de los puntos de evacuación y recogida de los Residuos Sólidos Urbanos (ubicación de cestos).
- Análisis técnico económico de alternativas de gestión.
 - Propuesta técnica de alternativas de disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos.
 - Uso de indicadores económicos (VAN, PRI) para la selección de alternativa de gestión factible.
- Valoración de la repercusión ambiental de la alternativa seleccionada.

Capítulo 1. Análisis Bibliográfico.

1.1. Residuos Sólidos. Conceptos Generales.

Los residuos pueden clasificarse en sólidos, líquidos y gaseosos, de acuerdo a su estado físico. Agregándose los residuos pastosos, que comúnmente aparecen como producto de las actividades humanas. Por su parte Tchobanoglous (2007) define los residuos sólidos como los desechos descartados en forma permanente por quien lo produce por considerarlos ya sin una utilidad en su proyecto, aunque esto no significa que estos materiales no puedan configurar un recurso en otro marco, o ser útil para otro acto distinto del generador.

La cuestión de los residuos sólidos afecta en general y de forma horizontal a todas las actividades, personas y espacios, convirtiéndose en problema no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados sino por la creciente incapacidad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto desde un punto de vista ecológico. Esta incapacidad viene determinada no sólo por la excesiva cantidad de residuos sólidos que se generan sino por su extraordinaria peligrosidad en determinados casos: radiactivos, algunos organoclorados, entre otros.

1.1.1. Origen de los residuos sólidos.

Los residuos sólidos son originados por:

Los organismos vivos: Este grupo incluye todos los residuos generados por los seres vivos como desechos de las funciones que estos realizan, tales como; la caída de hojas, flores y frutos de las plantas, los residuos generados por las excretas de los animales, la descomposición de organismos muertos, etc.

Los fenómenos naturales: Aquí se incluyen todos los residuos derivados de los ciclos o fenómenos naturales, por ejemplo; la erupción de un volcán, la sedimentación y la erosión de suelos producto del viento o de la lluvia, entre otros.

La acción directa del hombre: En este grupo se encuentran los residuos más peligrosos para el medio ambiente pues muchos de ellos tienen un efecto negativo y prolongado en el entorno, lo cual viene dado en muchos casos por la propia

naturaleza físico-química de los desechos; entre los que se tienen los residuos domésticos, los hospitalarios, los constructivos, etc (Damghani, 2007).

1.1.2. Evolución de la gestión de los residuos sólidos.

Los residuos sólidos tienen diversas fuentes. En el ámbito urbano, la acumulación de residuos sólidos es una consecuencia directa de la vida. La cantidad y composición de los residuos sólidos está en función del desarrollo de la sociedad, de sus avances técnicos, científicos, y del crecimiento de la población en núcleos cada vez más complejos.

Desde la sociedad primitiva, los seres humanos y animales han utilizado los recursos de la tierra tanto para su supervivencia como para la evacuación de los residuos. En tiempos remotos la evacuación de estos materiales no representaba un problema significativo, ya que la población era pequeña comparada con la cantidad de área superficial disponible. El impacto del ser humano sobre la naturaleza fue limitado a intervenciones en pequeñas escalas. Los desechos generados entonces, eran fácilmente asimilados por la naturaleza, ya fuera por las cantidades como por la composición química de los mismos (Domènech, 1998; Sarmiento, 2005; Tchobanoglous, 2007).

Los problemas de evacuación de de residuos comenzaron a aparecer desde que los seres humanos comenzaron a agruparse en tribus aldeas y comunidades, siendo la acumulación de los residuos una consecuencia de estas formad de vida. El hecho de arrojar comidas y otros tipos de residuos a las calles sin pavimentos, carreteras o terrenos vacíos en las ciudades medievales, llevó a la reproducción de vectores como moscas, ratas que ocasionaron numerosas epidemias con altos índices de mortalidad.

No fue hasta el siglo XIX los funcionarios públicos comenzaron a tomar medidas sanitarias referidas a la recogida y deposición final de los desechos sólidos para evitar las epidemias. Con el inicio de la civilización, los matices de esta situación comenzaron a cambiar y en la actualidad alcanzan cifras verdaderamente alarmantes. Con la industrialización, la sociedad ya no pudo soslayar el problema, que si bien empezó por dañar la salubridad urbana, en pocos decenios acabó por

dañar el medio ambiente (Domènech, 1998; Sarmiento, 2005; Tchobanoglous, 2007).

1.2. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

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

Los **Residuos Sólidos Urbanos** según la NC 133:2002 son el conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas.

1.2.1. Clasificación.

La bibliografía especializada resume distintas terminologías que se les aplican a los residuos sólidos urbanos para su clasificación. La comprensión de su importancia en el manejo dependerá del criterio de clasificación (tabla 1.1) que se tome como referencia y la interconexión que existe entre ellos, de ahí la necesidad de integrar los criterios de clasificación (Tchobanoglous, 2007).

Tabla 1.1. Criterios de clasificación de los residuos sólidos urbanos.

En dependencia de:	Clasificación
Su composición química	- Orgánicos - Inorgánicos
Su utilidad o punto de vista económico	- Reciclables - No reciclables
Su origen	- Domiciliarios - Comerciales - Constructivos - Industriales - Institucionales - Municipales - Agrícolas
El riesgo	- Peligrosos - No inertes - Inertes

Fuente: Tchobanoglous, 2007.

1.2.2. Composición.

La composición de los residuos sólidos urbanos es muy variada, lo cual se debe, fundamentalmente, a los diferentes factores relacionados con la actividad humana.

En la bibliografía especializada consultada (Lund, 1996; Seoanéz, 2000), se reporta la composición de los residuos sólidos urbanos para países en vías de desarrollo, sin embargo para definir una composición estándar hay que tener en cuenta la intervención de diferentes factores de tipo histórico, económico, político, social, natural, ecológico, y cultural en general. Entre estos factores las características de la población, la época del año y el nivel cultural, económico y social constituyen las principales circunstancias modificadoras de la composición de los residuos sólidos urbanos.

- Las características de la población que los genera: La composición de los residuos sólidos urbanos 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
- El nivel cultural, económico y social de la población que los genera: Este influye no solo en su composición sino también en su cantidad. Lo anterior está muy relacionado con las características de los residuos. Las características de los residuos dependen de los hábitos de consumo y generación de los habitantes de las determinadas zonas (Garrigues, 2003).

1.2.3. Muestreo.

Las muestras selectivas de residuos sólidos destinados a la selección manual se obtienen de los vehículos normales de recolección. Un vehículo de recolección puede llevar un cargamento de 8 a 10 t. Por tanto, hay que separar de ese cargamento una muestra que sea representativa del conjunto, después se prosigue a seleccionar manualmente la muestra en sus componentes de residuos

..... **CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.**

y en las fracciones de peso calculadas para cada componente. Posteriormente puede calcularse la composición media de los residuos utilizando los resultados sobre composición obtenidas de cada una de las muestras selectivas. Cada día dentro del período de muestreo se pueden elegir aleatoriamente los vehículos destinados a muestreos, o bien pueden ser preseleccionados, con el fin de proporcionar una cantidad de residuos representativa de diversos estratos socioeconómicos dentro de una jurisdicción regional. Esta decisión se adopta durante las actividades para muestreo. Para un período de muestreo semanal de x días, el número de vehículos muestreados cada día será aproximadamente n/x , donde n es total de cargamentos procedentes de los vehículos seleccionados para estimar la composición de los residuos. El período semanal puede variar entre 5 y 7 d. Los residuos destinados se dirigen hacia una zona prefijada para la descarga y recolección de la muestra selectiva. Se instruye al operario del vehículo para que realice la descarga sobre una superficie limpia y en una pila continua, con el fin de evitar la formación de huecos en el cargamento vaciado. En este momento también se recopila información procedente del operario del vehículo, antes de que abandone la zona de descarga una vez descargado el vehículo es necesario separar una porción manejable del cargamento que sea representativa del mismo.

Para la obtención de muestras que sean representativas se recomienda la utilización de uno de los dos métodos siguientes:

Primer método: Requiere la utilización de una pala frontal. El operario de la pala mezcla completamente el cargamento de residuos y lo nivela en una pila continua. Después el operario, una vez mediante la pala, separa aproximadamente la cuarta parte del cargamento y lo coloca apartado del resto. Se mezcla la porción separada y de nuevo se separa la cuarta parte. El procedimiento se repite hasta obtener una cuarta parte, con un peso de 90 a 140 kg. Esta parte se selecciona manualmente en sus constituyentes de residuos.

Segundo método: Requiere también de una pala frontal y un operario. Sin embargo en esta ocasión, en vez de mezclar todo el cargamento de residuos antes de separar una muestra, esta se obtiene longitudinalmente a lo largo de un

lateral del cargamento vaciado. La muestra debe formar una masa que contenga aproximadamente 450 kg, después se mezcla la muestra completamente y se separa la cuarta parte para la selección manual. Este método emplea menos tiempo y los resultados son semejantes a los obtenidos en el primer método.

Se puede seleccionar una muestra en cada cargamento designado. Todo el proceso de manipulación debe realizarse sobre superficies limpias. Si es necesario la muestra selectiva se llevará hasta una zona de selección segura. Los materiales residuales que no entren en la selección manual deben ser sacados cuanto antes de la zona. Todas estas operaciones deben realizarse con la máxima celeridad para evitar alteraciones en los análisis que desvirtúen los resultados. Así el análisis de la composición y propiedades corresponde a porcentajes en base húmeda (Tchobanoglous, 2007).

1.2.4. Propiedades.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos urbanos son elementos fundamentales que se deben tener en cuenta siempre que se va a reciclar y transformar los residuos sólidos. Dichas propiedades son vinculadas directamente a las actividades de gestión de los residuos sólidos urbanos, por lo que de acuerdo a las propiedades que presentan los residuos, se seleccionan los procesos unitarios a emplear para llevar a cabo las transformaciones de los mismos (Tchobanoglous, 2007).

1.2.4.1. Propiedades físicas

Según Tchobanoglous (2007), dentro de las propiedades físicas de los residuos sólidos urbanos las más importantes son:

Peso específico: Se define como la masa del material por unidad de volumen (ej. kg/m^3). Como el peso específico de los residuos sólidos urbanos frecuentemente se refiere a residuos sueltos, encontrados en los contenedores, no compactados, compactados, etc., la base utilizada para los valores presentado debe ser siempre citada. El peso específico de las sustancias que se encuentra en los residuos sólidos urbanos, varía notablemente de unos a otros, de ahí que existan diferentes técnicas, para la separación y clasificación de los elementos, así como

..... **CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.**

de los medios de transportación más idóneos para cada caso, según las dimensiones del volumen de recogida.

Contenido de humedad: El grado de humedad de los residuos sólidos urbanos 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, lo que favorece 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 (ec. 1.1).

$$H = \frac{(W - D)}{W} \times 100 \quad (\%) \quad (1.1)$$

Siendo:

H: Contenido de humedad

W: Masa inicial de la muestra según se entrega (kg)

D: Masa de la muestra después de secarse a 105 °C (kg)

Tamaño de partícula y distribución del tamaño: El tamaño y la distribución del tamaño de los componentes de los materiales en los residuos sólidos son una consideración importante dentro de la recuperación de materiales especialmente con medios mecánicos como cribas, tropel y separadores magnéticos.

El tamaño de un componente puede definirse mediante una de las siguientes medidas (ec 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 y 1.6):

$$Sc = l l \quad (1.2)$$

$$Sc = \frac{(l+W)}{2} \quad (1.3)$$

$$Sc = \frac{(l+W+h)}{3} \quad (1.4)$$

$$Sc = l \times W^{1/2} \quad (1.5)$$

$$Sc = (l \times W \times h)^{1/3} \quad (1.6)$$

Donde:

Sc= Tamaño del componente (mm)

l=Largo (mm)

W=Ancho (mm)

h= Altura (mm)

Capacidad de campo: Es la cantidad de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad, es de gran importancia para determinar la formación del lixiviado de los vertederos. La capacidad de campo varía con el grado de presión aplicado y el estado de descomposición de la muestra.

Permeabilidad de los residuos compactados: La conductividad hidrológica de los residuos compactados es una propiedad física importante, que en gran parte gobierna el movimiento de líquidos y gases dentro del vertedero.

El coeficiente de permeabilidad se expresa de la siguiente manera:

$$K = \frac{C \times d^2 \times v}{\mu} = \frac{k \times v}{\mu} \quad (1.7)$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad.

C= Constante sin dimensiones o factor de forma

d = Tamaño medio de los poros.

ν = Peso específico del agua

μ = Viscosidad dinámica del agua

k = permeabilidad intrínseca.

El término $C.d^2$ se conoce como permeabilidad intrínseca (o específica), depende solamente de las propiedades del material sólido (distribución de los tamaños de poros, complejidad, superficie específica y porosidad).

1.2.4.2. Propiedades químicas.

Las propiedades químicas son importantes para evaluar la posibilidad de procesamiento y recuperación (Tchobanoglous, 2007). 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 masa adicional con la ignición a 950 °C en un crisol cubierto.
- Carbono fijo: Rechazo combustible después de retirada la materia volátil.
- Ceniza: Masa 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 las incineraciones se transforma en sólido (escoria) por la fusión y la aglomeración (las temperaturas típicas oscilan entre 1 000 °C y 1 200 °C).

El análisis elemental de los componentes implica la determinación del porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza, frecuentemente se

incluye la determinación de halógenos. Este análisis es importante para caracterizar la composición química de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos, 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 por cálculo, con el empleo una caldera real como calorímetro, y una bomba calorimétrica de laboratorio, si se conoce el análisis elemental. Este parámetro, conocido también como poder calorífico, es fundamental para decidir sobre el sistema de tratamiento a emplear para los residuos sólidos urbanos, especialmente si es factible o no emplear el proceso de incineración. Durante la descomposición de los residuos sólidos urbanos, 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, lo que contribuye a la putrefacción de los residuos y genera condiciones de insalubridad. El Poder Calorífico Inferior (PCI) de los residuos sólidos urbanos varía entre 800 y 1 600 kcal/kg, elemento a tener en cuenta para la generación de energía eléctrica a partir de éstos.

1.2.4.3. Propiedades biológicas.

En la biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos puede utilizarse el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción biodegradable mediante la siguiente relación (Tchobanoglous, 2007).

$$BF = (0,83 - 0,028) LC$$

Donde:

BF- Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles (SV)

0,83- constante empírica

0,028- constante empírica

El Contenido de lignina (LC) de los Sólidos Volátiles expresado como un porcentaje en masa seco.

La reducción de olores normalmente se produce por la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos fácilmente descomponibles presentes en los residuos sólidos urbanos.

La producción de moscas en los climas cálidos, es una cuestión importante para el almacenamiento *in situ* (Tchobanoglous, 2007).

1.3. Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.

Históricamente, el manejo de los residuos ha sido abordado una vez que estos han sido generados (post- generación), limitándose a encontrar un lugar de disposición final, y procurando evitar molestias para la comunidad, este enfoque es meramente reactivo.

La gestión inteligente de los residuos sólidos con énfasis en los vertederos controlados comenzó a principios de los años ´40 en EEUU y una década antes en el Reino Unido. California y New York fueron las ciudades pioneras en el vertido controlado para grandes urbes.

Actualmente los enfoques de la gestión integral de residuos, establece la necesidad de intervenir antes y después de la generación de los residuos, basados en el principio “preventivo”.

Para diseñar y poner en práctica un plan de residuos sólidos efectivos, es necesario desarrollar una completa comprensión de las diferentes unidades y puntos de los procesos en el que se generan los residuos.

Uno de los indicadores que a primera vista reflejan la salud y calidad de vida de una población es el estado de limpieza y la belleza de su ciudad.

El manejo de los residuos sólidos y su disposición sanitaria final, determinan en consecuencia la calidad de la administración local y la eficiencia de sus dirigentes. A través del servicio público de aseo se puede evaluar la voluntad política, la capacidad de gestión y su responsabilidad para brindar la debida protección de la

..... **CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.**

salud pública y de los trabajadores, además de obtener un buen aspecto y protección del ambiente en su territorio municipal (Jaramillo, 1991; Treto, 1998).

La gestión de residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia, transporte, procesamiento y evacuación de los residuos sólidos.

La gestión de los residuos sólidos urbanos consta fundamentalmente de las siguientes actividades: separación, almacenamiento, presentación para su recolección, transferencia (barrido), transporte, procesamiento (tratamiento) y disposición o evacuación sanitaria final o eliminación de los residuos sólidos, siendo esta última imprescindible en el manejo de los residuos. Debe garantizarse que todas armonicen con los mejores principios de la salud pública, de la economía y de consideraciones ambientales.

Las primeras dos actividades son responsabilidad del usuario o generador de los residuos sólidos, las demás son competencia del municipio o de la empresa encargada de este servicio (Razos, 1990; Damghani, 2007).

1. Limpieza de vías y áreas públicas: Cuando se menciona esta actividad se piensa a menudo que solo consiste en el barrido de calles, pero la misma es más compleja, pues además incluye la limpieza de mercados, áreas de ferias, plazas, parques, atención a las áreas verdes, limpieza de playas, mantenimiento a cursos de agua y otros.

2. Almacenamiento inicial: Que puede ser sin separación inicial o con ella. Este componente, al que hay tendencia a restarle importancia, sin embargo determina el mantenimiento permanente de condiciones sanitarias en la localidad, garantiza la calidad de la recogida, influye sobre el tiempo en que se ejecuta, el aprovechamiento del transporte y por tanto en los costos e influye de forma directa en la protección al personal encargado de la recolección.

3. Recogida: Puede ser selectiva o global, en puntos fijos o en viviendas. Este componente requiere de una planificación esmerada, pues tiene gran influencia sobre los costos y sobre la satisfacción de la población por el servicio brindado. Requiere de un estudio de la viabilidad, de los horarios picos, de la intensidad del

..... **CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.**

tránsito, de la generación y composición de los residuos sólidos urbanos en las zonas y sobre todo del cumplimiento sistemático del recorrido y horario.

4. Transportación: Puede realizarse con diferentes vehículos especializados, con camiones no especializados, con carreta y tractor, tiro animal, u otros. En dependencia de la distancia puede ser directa o una estación de transferencia.

5. Tratamiento: Es el componente que tiene como objetivo principal disminuir el riesgo de producir contaminación y proteger la salud. Los principales métodos de tratamiento para los desechos sólidos son: rellenos sanitarios, incineración, pirolisis, compostaje y lombricultura. Entre estas alternativas se debe optar por la más adecuada a las condiciones técnicas y socioeconómicas locales sin dejar de analizar los aspectos de contaminación.

6. Disposición final: El más recomendable es el relleno sanitario, que es el único sistema que es a la vez un método de tratamiento. Los demás métodos de tratamiento necesitan de una disposición final.

1.3.1. Gestión negativa.

Un mal manejo y una disposición final no sanitaria de los residuos sólidos, produce enormes efectos negativos al hombre, la sociedad y el medio ambiente. Como factores determinantes se encuentran la cantidad y calidad de los mismos, la magnitud de la población que genera el residuo, su distribución geográfica y las condiciones geográficas del lugar.

Una primera consecuencia de la permanencia de los residuos sólidos en lugares al aire libre es la alteración al paisaje que ocasiona efectos negativos al lugar, además de la generación de focos contaminantes que afectan a la población y sus condiciones de existencia, si la deposición final de estos residuos sólidos no es la adecuada. Debe tenerse en cuenta que los residuos sólidos son una gama de sustancias químicas que al ponerse en contacto con el medio ambiente pueden ocasionar:

- Enfermedades provocadas por vectores sanitarios: Existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica tales como moscas,

mosquitos, ratas y cucarachas cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos (Castellanos, 1996).

- Contaminación de aguas: el efecto ambiental más serio, pero menos reconocido que provoca la disposición no apropiada de residuos es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, por el vertimiento de las basuras a los ríos y quebradas, y por el líquido percolado de los botaderos a cielo abierto, respectivamente. La descarga de las basuras a las corrientes de agua, incrementa la carga orgánica y disminuye el oxígeno disuelto; aumenta los nutrientes y algas que dan lugar a la eutrofización; causa la muerte de peces; genera malos olores y deteriora su aspecto estético. A causa de esta circunstancia, en muchas ocasiones se ha perdido este recurso tan importante para el abastecimiento o para la recreación de la población. La descarga de las basuras en las corrientes de agua o su abandono en las vías públicas, traen consigo también la disminución de los cauces y canales, y la obstrucción de los alcantarillados. En época de lluvias, esto provoca inundaciones que en algunos casos ocasionan la pérdida de cultivos, de bienes materiales y, más graves aún, de vidas humanas (Jaramillo, 1991).
- Contaminación atmosférica: En los botaderos a cielo abierto es evidente el impacto negativo causado por los desechos, debido a los incendios y humos que reducen la visibilidad y son causa de irritaciones nasales y de la vista, así como de incremento en las afecciones pulmonares, además de las molestias originadas por los malos olores (Jaramillo, 1991; Treto, 1998).
- Contaminación de suelos: Deterioro estético y desvalorización tanto del terreno como de las áreas vecinas, por el abandono y acumulación de los desechos sólidos a cielo abierto. Por otro lado los suelos pueden ser alterados en su estructura debido a la acción de los líquidos percolados y las distintas sustancias depositadas allí sin ningún control, dejándolos inutilizados por largos períodos de tiempo (Jaramillo, 1991; Treto, 1998).

- Problemas paisajísticos y riesgo: La acumulación en lugares no aptos de residuos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener en algunos casos asociados un importante riesgo ambiental, pudiéndose producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes (Jaramillo, 1991; Treto, 1998).
- Afectación a la Salud humana: Estos riesgos son ocasionados por el contacto directo con la basura, que a veces contiene excrementos humanos y de animales; las personas más expuestas son los *recolectores*, debido a la manipulación de recipientes inadecuados para el almacenamiento de los desechos, al uso de equipos inapropiados y por carecer de ropa limpia, guantes y zapatos de seguridad. En la misma situación se encuentran los *segregadores*, cuya actividad de separación y selección de materiales es realizada en las peores condiciones y sin la más mínima protección. Es necesario anotar que en todas estas personas se muestra una incidencia más alta de parásitos intestinales que en el público en general. Además, experimentan tasas más altas de lesiones que las de trabajadores de la industria; estas lesiones se presentan en las manos y en los pies, así como también lastimaduras en la espalda, hernias, heridas, enfermedades respiratorias y en la piel, entre otras (Jaramillo, 1991; Treto, 1998).

1.3.2. Gestión positiva.

Para lograr una mayor eficiencia y rentabilidad en la gestión de los residuos sólidos urbanos debe asumirse la llamada "Gestión Integral de Residuos Sólidos" (GIRS), la cual, Tchobanoglous (2007) define como la "selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos".

Algunas de las acciones para implementar la GIRS pudieran ser:

- Conservación de recursos: el manejo apropiado de las materias primas, la minimización de residuos, las políticas de reciclaje y el manejo apropiado de residuos traen como uno de sus beneficios principales la conservación y en

algunos casos la recuperación de los recursos naturales. Tal es el caso de la recuperación del material orgánico a través del compostaje.

- Reciclaje: un beneficio directo de una buena gestión lo constituye la recuperación de recursos a través del reciclaje o reutilización de residuos que pueden ser convertidos en materia prima o ser utilizados nuevamente.
- Recuperación de áreas: Uno de los beneficios de disponer los residuos en forma apropiada es el relleno sanitario. Es la opción de recuperar áreas de escaso valor y convertirlas en parques y áreas de esparcimiento, acompañado de una posibilidad real de obtención de beneficios energéticos (biogás) (Jaramillo, 1991; Treto, 1998).

1.3.2.1. Reciclaje de materiales de los residuos sólidos.

El reciclaje de los materiales encontrados en los residuos sólidos urbanos implica: la recuperación de las fracciones del flujo de residuos, el procesamiento intermedio, el transporte y el procesamiento final para proporcionar materia prima para los fabricantes o bien un producto final. Las principales ventajas del reciclado son la conservación de los recursos naturales y del espacio del vertedero. Los requisitos para el éxito de un programa son: la existencia de una fuerte demanda de las fracciones recuperables y un valor de mercado para los materiales, que sean suficientes para cubrir los gastos de energía y transporte. Las cuestiones fundamentales para el reciclado de residuos sólidos incluyen la identificación de los materiales que se vayan a recuperar, las posibilidades de reutilización y reciclaje así como las especificaciones de los compradores de dichos materiales (Tchobanoglaus, 2007).

Las ventajas del reciclaje de los residuos sólidos se traducen en:

- Ahorro de energía.
- Reducción de los costos de recolección.
- Reducción del volumen de los residuos sólidos.
- Conservación del ambiente y reducción de la contaminación.

- Se alarga la vida útil de los sistemas de relleno sanitario.
- Remuneración económica en la venta de reciclables.
- Protección de los recursos naturales renovables y no renovables.
- Ahorro de materia prima en la manufactura de productos nuevos con materiales reciclables.

1.4. Tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos

1.4.1. Tratamiento.

El tratamiento es la alteración química, física o biológica de los residuos, para mejorar la eficacia de las operaciones y sistema de gestión de residuos. Se lleva a cabo para recuperar materiales reutilizables y reciclables y para recuperar productos de conversión y energía en forma de calor y biogás combustible.

Según la Norma Cubana NC 135:2002 es el “Conjunto de procesos y operaciones mediante los cuales se modifican las características físicas, químicas y microbiológicas de los residuos sólidos, con la finalidad de reducir su volumen y las afectaciones para la salud del hombre, los animales y la contaminación del medio ambiente”.

El tratamiento en el manejo de los desechos sólidos tiene como objetivos principales disminuir el riesgo de producir contaminación y proteger la salud.

Entre las alternativas consideradas se debe optar por la solución más adecuada a las condiciones técnicas y socioeconómicas locales, sin dejar de analizar los aspectos de contaminación.

Los principales métodos de tratamiento de residuos son la incineración, el compostaje, la pirólisis, la lombricultura y el relleno sanitario, y tienen como propósito reducir su volumen. Sin embargo en los primeros, se requiere además de un relleno sanitario para disponer los residuos que se producen, por lo tanto no se consideran como métodos de disposición final (Jaramillo, 1991).

Los tratamientos de los residuos sólidos se clasifican en:

Tratamiento físico: No implican cambio de fases e incluye la separación de componentes, la reducción mecánica de volumen y la reducción de tamaño, entre otros.

Tratamiento químico: Implican cambio de fases e incluye la combustión (oxidación química), la pirólisis y la gasificación.

La **Pirólisis** es la combustión de materia en atmósferas prácticamente ausente de oxígeno. El proceso consta de una separación clásica de fracciones no orgánicas, secado variable y pirolización en lecho fluido de aire- nitrógeno pobre en oxígeno (Jaramillo, 1991).

“La **Incineración** (recuperación de energía) es el proceso de combustión de los residuos sólidos hasta convertir en cenizas todas las porciones combustibles de los residuos sólidos, utilizando hornos u otros medios técnicos, debiendo existir monitoreo a tales efectos” (NC 134:2002). La incineración de los desechos sólidos logra una reducción de volumen, en el que se obtiene un material inerte (escorias y cenizas), cerca del 10% del inicial y emite gases durante la combustión. Tal reducción es obtenida en hornos especiales en los que se puede garantizar aire de combustión, turbulencia, tiempos de retención y temperaturas adecuadas. Una mala combustión generará humos, cenizas y olores indeseables (Mariano, 2000; Romero, 2001; Sarmiento, 2008).

Los tratamientos físico-químico involucran tanto los procesos físicos como químicos, los cuales modifican las propiedades químicas o físicas de un residuo. Estos tratamientos pueden cumplir varias funciones en un sistema de gestión de residuos.

- Permitir la recuperación de un compuesto para su posterior utilización como materia prima en otro proceso.
- Separar los constituyentes peligrosos de la masa total del residuo.
- Reducir la peligrosidad del residuo mediante la transformación de sus componentes, lo que contribuye a convertirlos en compuestos menos peligrosos.

- Transformar el residuo en un material que cumpla las condiciones para ingresar a otro sistema de tratamiento o al sistema de disposición final.

Los tratamientos biológicos incluyen al compostaje aerobio, lombricultura y la digestión anaerobia.

El **Compostaje aerobio** es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los residuos sólidos (NC 134:2002). En la mayoría de los países desarrollados, el tratamiento de los residuos orgánicos se está ha convertido en una de las prácticas claves de la gestión moderna de residuos.

La degradación en el compostaje se produce por la digestión enzimática de los residuos por parte de los microorganismos del suelo (bacterias, hongos, insectos), en la que se usa la materia orgánica como sustrato. La degradación aeróbica de las sustancias orgánicas y la mineralización a CO₂ (dióxido de carbono), agua y sales inorgánicas viene acompañada por una reducción de la masa de un 40 % a un 50 %.

El proceso se describe como la introducción de oxígeno y nutrientes a la materia orgánica, las cuales son degradadas por microorganismos aerobios facultativos y obligados, principalmente bacterias mesofílicas en las fases primarias del proceso, dando nuevas células como bacterias termofílicas, (después de haber subido la temperatura en el compost), las cuales conducen a hongos termofílicos (después de 5 a 10 d) y mohos y actinomiceto en las últimas etapas o el período de maduración. Se forma una materia orgánica estable liberándose calor y gases como CO_{2(g)}, H₂O_(g), NH_{3(g)}, SO_{4(g)}.

Existen consideraciones importantes a tener en cuenta para diseñar un proceso de compostaje aerobio tales como: tamaño de partícula, relación carbono-nitrógeno, mezcla, siembra, contenido de humedad, mezcla/volteo, temperatura y requisitos de aire. El resultado es un producto de alta calidad, muy útil como fertilizante. Es un material tipo "humus", bioquímicamente estable, constituido por materia orgánica, mineral y cerca de 40 % de agua, y pH neutro o poco alcalino, además de ser un material muy útil para el crecimiento de las plantas.

..... **CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.**

Su aplicación es una manera de reciclar las sustancias orgánicas y minerales producidas por el propio suelo agrícola sin necesidad de tratamientos químicos o biológicos (Merizalde, 2003, Tchobanoglaus, 2007).

La **Lombricultura** es el proceso de transformación de la porción orgánica de los residuales por la acción de lombrices bajo condiciones específicas (temperatura, humedad, climatización, tiempo, altura de la capa residual) obteniéndose un humus o abono orgánico (NC 134:2002).

La **digestión anaeróbica** es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada mediante la intervención de distintos grupos de microorganismos en biogás o gas biológico, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico (metano (CH₄) de 55 a 80%, dióxido de carbono (CO₂) de 20 a 45% y trazas de otros compuestos como sulfuro de hidrógeno) (Pravia, 2004).

1.4.2. Disposición final.

Después que el residuo ha sido tratado se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte dónde la disposición será permitida.

Un limitado grupo de residuos puede ser dispuesto por inyección a pozos profundos y en descargas submarinas a océanos, muchos residuos gaseosos y particulados son dispuestos en la atmósfera.

Los residuos sólidos comúnmente son depositados en:

- Micro vertederos (Basural)
- Vertederos a cielo abierto sin control (botaderos).
- Vertederos a cielo abierto controlados (botaderos controlados).
- Rellenos Controlados.
- Rellenos Sanitarios Convencionales Mecanizados.
- Rellenos Sanitarios Manuales.

- Depósitos de seguridad.

La tabla 1.2 resume las diferencias entre estos métodos de disposición.

Tabla 1.2. Cuadro comparativo de las diferentes alternativas de depósito.

Clasificación	Control	Diseño	Información del residuo	Limites	Impermeabilización y recubrimiento	Existencia de protección
Basural	No	No	No	No	No	No
Botadero	No	No	No	No	No	No
Botadero controlado	No -- Si	No	No -- Si	Si	No	No
Vertedero	Si	No -- Si	No -- Si	Si	No -- Si	No -- Si
Relleno sanitario	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Deposito de seguridad	Si	Si	Si	Si	Si	Si

1.4.2.1. Rellenos sanitarios.

La Norma Cubana (NC 135:2002) establece que un relleno sanitario es la “disposición de manera planeada y controlada de los residuos sólidos, esparciéndolos en capas delgadas para reducir su volumen, cubriéndolos con una capa de tierra”. Es, en esencia, una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado (Tchobanoglaus, 2007). Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domésticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al

relleno sanitario; como ser actividades silvo-agropecuarias en el largo plazo. El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos, donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno) (Jaramillo, 1991).

1.4.2.2. Vertederos.

La primera forma empleada para disponer los residuos sólidos urbanos fue la de vertederos a cielo abierto, esto implica el contacto con determinados agentes transmisores de enfermedades. Según la Norma Cubana (NC 135:2002) el vertedero es el “Terreno para la disposición final de los residuos sólidos, con características específicas, según las regulaciones higiénico-sanitarias y ambientales”. Se puede decir que un vertedero de residuos sólidos es como un reactor biológico, con residuos y aguas como entrada y con gases de vertederos y lixiviado como salidas. El material almacenado en el vertedero incluye: material orgánico parcialmente biodegradado y otros materiales inorgánicos de los residuos originalmente colocados en el vertedero.

Este es el método que predomina en países subdesarrollados, producto de que los costos son muy bajos y no requiere planeamiento para su explotación. Este método consiste en el vertimiento directo de todos los residuos sólidos sobre el suelo, donde puede darse alguna reducción del volumen de las basuras mediante la quema de la porción combustible de los mismos (Tchobanoglaus, 2007).

1.4.2. La Producción Más Limpia.

Las técnicas de P+L se pueden implementar a cualquier proceso de producción, producto o servicio de la siguiente forma:

En procesos productivos: pueden aplicarse a la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias tóxicas y la reducción la cantidad de toxicidad de todas las emisiones y residuos desde la fuente.

En productos: al reducir los impactos negativos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto desde el diseño hasta su disposición final.

En Servicios: en la incorporación de cuidados ambientales en el diseño y entrega de servicios (Rigola, 1998).

Contempla desde simples cambios en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores, que impliquen la sustitución de materias primas, insumos o líneas de producción más eficientes. Las técnicas comúnmente empleadas en la P+L se resumen en:

- Mejoras en el proceso.
- Buenas prácticas operativas.
- Mantenimiento de equipos.
- Reutilización y reciclaje.
- Cambios en la materia prima.
- Cambios de tecnología.

A criterio del autor las técnicas de P+L constituyen una herramienta de la gestión ambiental que pretende optimizar los procesos y servicios con sus respectivas ventajas técnica, económica, ambiental y social que se logra con su aplicación.

Capítulo 2. Metodología de la Investigación.

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo general y validar la hipótesis se diseña la metodología de la investigación, estructurada por etapas (figura 2.1).

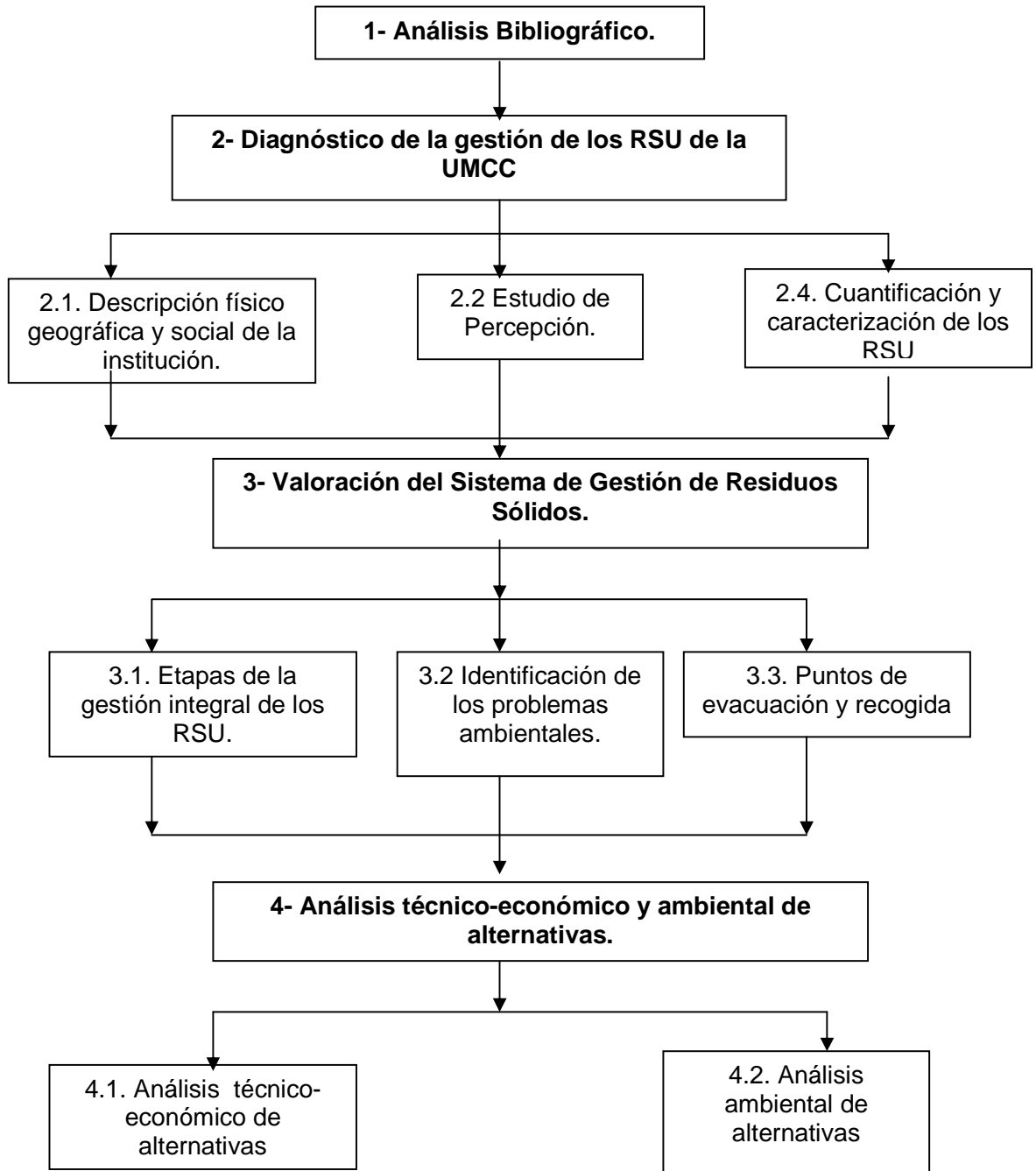


Figura 2.1. Esquema metodológico de la investigación.

2.1. Análisis Bibliográfico.

En el análisis bibliográfico se utilizan como métodos teóricos el de **análisis-síntesis**. Para lo cual se relacionan los elementos entre sí y su vinculación con la situación problema como un todo, sobre la base de la información previamente analizada. Se utiliza, además, el método **histórico-lógico**. Este método estudia la trayectoria real de los fenómenos y acontecimiento en el discursar de su historia, así como leyes generales de funcionamiento y desarrollo de los fenómenos. En esta investigación se combinaron ambos métodos para describir conceptos relacionados con los residuos sólidos, su gestión y tratamiento, así como para entender los antecedentes de su valoración.

2.2. Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos.

El diagnóstico se desarrolla con el objetivo de caracterizar a la Universidad de Matanzas, así como identificar la situación actual de la gestión de sus residuos sólidos urbanos.

2.2.1. Estudio de Percepción.

La situación actual relacionada con las deficiencias del proceso de generación, recogida, transportación y tratamiento de los residuos sólidos, se identifican en función del quehacer y criterio de la población universitaria y de especialistas.

2.2.1.1. Percepción de la comunidad universitaria.

En el estudio de percepción de la comunidad universitaria se aplicaron **la observación** y **la encuesta** como métodos empíricos. La observación se realiza, por parte del investigador, de forma directa, objetiva, no casual y repetitiva del comportamiento de dicha comunidad.

Las encuestas aplicadas fueron dirigidas a los siguientes grupos:

1. Estudiantes y trabajadores (anexo 1).

La expresión 2.1 fue utilizada para determinar el tamaño de la muestra en las encuestas aplicadas a los grupos definidos.

$$n = \frac{N k^2 P Q}{e^2 (N - 1) + k^2 P Q} \quad (2.1)$$

Donde:

n – Tamaño muestral

N – Tamaño de la población

k- Valor correspondiente a la distribución normal.

P - Probabilidad de que se produzca un fenómeno o proporción muestral.

Q - probabilidad contraria o complementaria $Q = 1 - P$

e - Error absoluto.

La selección de los encuestados se realiza por un procedimiento de muestreo aleatorio simple, teniendo en cuenta la homogeneidad criterial de la población sobre la temática abordada y el nivel de influencia que podían ejercer en los resultados.

En el momento de la investigación (curso 2009-2010) el tamaño de la muestra, en función de la población y considerando un nivel de confianza de 95 % ($e= 5\%$), $k = 2$ y $Q = P = 0,5$, ascendió a 400: 80 estudiantes, 320 profesores y trabajadores no docentes. La selección de los encuestados en ambos grupos se realiza por un procedimiento de muestreo aleatorio simple en todas las áreas de la Universidad: Rectoría, Hotel Universitario, Áreas y Departamento de Facultades, Áreas del Centro de Información Científico Técnico (CICT), Centros de Estudios, Cafeterías, Áreas de ATM, Transporte, Mantenimiento, Carpintería, Talleres, Imprenta, Hospital, Extensión Universitaria, Edificio Administrativo, Residencia Estudiantil, Edificios Docentes, Cocina Comedor.

2.2.2. Cuantificación y caracterización de los residuos sólidos en la UMCC.

2.2.2.1. Muestreo de los residuos sólidos.

El método utilizado para el muestreo de los residuos fue el reportado por Tchobanoglous (2007). El método consiste en mezclar completamente el cargamento de residuos y nivelarlo en una pila continua. Posteriormente se separa

por subdivisión por cuarteo sucesivo hasta obtener de 90 kg a 140 kg de los residuos. El muestreo se desarrolló con dos frecuencias semanales en un período de 12 meses (curso 2008-2009). El estudio se inició con un recorrido por cada uno de los puntos de vertimiento hasta el lugar de descarga final.

2.2.2.2. Cuantificación de los residuos sólidos.

Para la cuantificación se seleccionaron los residuos manualmente en sus constituyentes. Las muestras fueron separadas en las siguientes fracciones: papel y cartón, plástico, metal, vidrio, materia orgánica y madera, las cuales fueron taradas. La cuantificación se obtiene de definir el porcentaje de cada fracción en la muestra seleccionada según la expresión 2.2.

$$F = \frac{W_i}{W_t} * 100 \quad (2.2)$$

donde:

F- fracción de cada componente (%)

Wi – masa de cada componente (kg)

Wt – masa total de la muestra (kg)

2.2.2.3. Caracterización de los residuos sólidos.

La caracterización físico-química de los residuos sólidos de la Universidad se llevó a cabo en el Laboratorio Costero perteneciente al CITMA y ubicado en el laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad. Para ello se emplearon los métodos propuestos por Las Normas Mexicanas NMX-AA. La caracterización incluyó pH, humedad, materia orgánica, cenizas, hidrógeno, relación C/N y nitrógeno orgánico.

A continuación se describen todas y cada una de las técnicas analíticas empleadas para la caracterización físico-química de los residuos sólidos muestreados:

Contenido de Cenizas (C): Ignición de la muestra hasta masa constante en una mufla (Carbolite) a 1073 K (800 °C) durante 3 horas con la corrección del contenido de humedad.

..... **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Contenido de Materia orgánica (MO): Método Volumétrico redox. Oxidación enérgica de la muestra con dicromato de potasio, ácido sulfúrico concentrado y posterior valoración con sulfato ferroso.

Contenido de Humedad: Calentamiento de la muestra al aire en una estufa termostática JOUAN a temperatura constante de 393K (120 °C) hasta masa constante.

Contenido de Hidrógeno: Está en función del porcentaje de materia orgánica obtenido de acuerdo a la constante de Jackson (15). Para conocer el contenido de Hidrógeno (% H) en una muestra se emplea la siguiente ecuación 2.3:

$$\%H = \frac{\% \text{ de materia orgánica}}{15} \quad (2.3)$$

Relación C/N: Es el parámetro utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base la materia orgánica. La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) está en función del porcentaje de materia orgánica (%M.O) obtenida de acuerdo a la constante de Jackson (0,58) y del % de Nitrógeno total (%N) (ec 2.4).

$$C/N = \frac{(\%M.O) \times 0,58}{\%N} \quad (2.4)$$

Nitrógeno total: Método del Persulfato por Digestión con Reflujo Cerrado.

Contenido de pH: Extracción de la muestra de residuos sólidos (4 g) con 100 mL de agua destilada o desionizada, libre de CO₂, a la temperatura de ebullición. El pH de este extracto obtenido se define como el valor de pH de los residuos sólidos. Método potenciométrico con el uso de un pHmetro pH - Meter, para lecturas de 0,1 unidades, con electrodo de vidrio e intervalo de temperatura hasta 80 °C.

2.2.2.4. Caracterización estadística.

En el procesamiento estadístico de la caracterización y la cuantificación se empleó el programa de computación EXCEL-2000 y el software **Statgraphics Plus 5.0** desarrollado por *Statistical Graphics Corp.* Statgraphic for Windows, con el que se

calculó la media, la desviación típica, la desviación típica relativa o coeficiente de variabilidad (CV, %).

2.3. Valoración del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos.

Para proponer el sistema de gestión de los residuos sólidos de la Universidad de Matanzas se evalúa el sistema actual a partir del procedimiento típico aplicado en la mayoría de los países en desarrollo, en el cual se definieron las etapas simples de generación, almacenamiento, recolección, transportación, tratamiento y disposición final.

2.3.1. Descripción y valoración de las etapas de la gestión de los residuos sólidos de la UMCC.

Para la descripción de las etapas de gestión se caracterizan:

La generación y almacenamiento: Se identifican los puntos de generación y almacenamiento y se valoran los más importantes y vulnerables.

El Servicio de Recogida: En esta etapa se estudia el procedimiento empleado para la recolección, manipulación y almacenamiento de los residuos sólidos así como la frecuencia y la forma en que se llevan a cabo.

La Transportación: Se describe el tipo y la forma de los vehículos de transportación existente en la Universidad.

El tratamiento: Se describe si se lleva a cabo o no el tratamiento de los residuos sólidos estudiados.

La Disposición final: Se describe el lugar y las características del mismo y la disposición final de los residuos sólidos.

Esta caracterización permite definir las principales deficiencias en el sistema de gestión, así como la repercusión en la salud, el entorno y la contravención de la legislación jurídica y ambiental.

2.3.2. Identificación de los problemas asociados a la gestión de los residuos sólidos de la UMCC.

Para identificar las causas y subcausas que originan la situación diagnosticada se utilizó la **técnica *Diagrama Causa-Efecto* o diagrama de Ishikawa**. En el procedimiento empleado en esta técnica se aplicó el método empírico de la **encuesta**. Las encuestas fueron dirigidas a expertos o especialistas calificados, imparciales y con experiencia en el trabajo.

En este estudio se seleccionaron 13 expertos (anexo 2) experimentados de la UMCC. Antes de aplicar la encuesta se les explicó los objetivos de la investigación y la trascendencia de su imparcialidad.

El procesamiento del instrumento (anexo 3) se realizó con los **métodos estadísticos Delphi y Kendall**. El método estadístico Delphi es una técnica de búsqueda de consenso a partir de encuestas que se basa en determinar el coeficiente de concordancia Delphi (C_c) como se describe en el anexo 4 (García D, J, 2005), con él se determinaron las posibles causas. Ya identificadas se ponderaron en orden de importancia con el objetivo de definir las principales. Para ello se utiliza el método de Kendall (anexo 5), el cual consiste en unificar los criterios del grupo de especialistas o expertos. El coeficiente de Kendall debe ser mayor que 0,5 para que exista concordancia de criterio entre los expertos.

Para procesar estadísticamente los resultados obtenidos en todas las encuestas aplicadas se utilizó el procesador estadístico SPSS 11.0. Este **método estadístico** permite evaluar la fiabilidad y viabilidad de las encuestas, así como la representatividad del muestreo.

Los resultados del diagnóstico permiten identificar y listar los problemas identificados en el proceso de generación y disposición de los residuos sólidos de la Universidad.

2.3.3. Puntos de evacuación y recogida.

Luego de diagnosticar la situación actual de los residuos sólidos y evaluar las etapas de gestión que se desarrollan en la Universidad se definen los puntos de

recolección externos mejor distribuidos, las características de generación y las vías de acceso a los recipientes en la recogida. La definición de los puntos de evacuación externos facilita realizar un estudio de la necesidad de recipientes para la evacuación en el que se puntualice las capacidades, tipos y análisis económico de la propuesta. Se reevalúa y define la frecuencia y horario de la recolección.

2.4. Análisis técnico-económico y ambiental de alternativas.

En este epígrafe se realiza el análisis de alternativas para el posible tratamiento y/o disposición final de los residuos sólidos en la Universidad de Matanzas, en el que se evalúan los costos para cada alternativa y los impactos ambientales asociada a la propuesta.

2.4.1. Análisis técnico-económico y selección de alternativas.

El análisis técnico se realiza a partir de la valoración del actual método de disposición final de los residuos sólidos de la Universidad de Matanzas. En dependencia del resultado se estudian, valoran y seleccionan otras alternativas para el aprovechamiento, tratamiento y/o eliminación de los residuos sólidos estudiados. El estudio teórico de las alternativas permitió definir los métodos factibles para un adecuado manejo de estos residuos sólidos. Para el análisis económico de dichas alternativas se utilizaron los métodos o indicadores económicos: Valor actual neto (VAN) y Plazo de recuperación de la inversión (PRI).

El método dinámico del Valor Actual Neto (VAN) consiste en reducir todas las diferencias futuras entre alternativas a una sola cantidad presente equivalente. En este caso se calculó el VAN de cada alternativa por separado, antes de valorar sus diferencias. El VAN refleja la rentabilidad de la inversión en términos absolutos. El VAN puede calcularse por la siguiente expresión.

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+k)^j} + \frac{VR}{(1+k)^n} \quad (2.5)$$

Donde:

A: desembolso inicial, (es negativo).

Qj: flujos netos de efectivo.

k: tasa de actualización, tasa de interés, tasa de descuento, o costo de capital.

VR: valor residual.

Según este criterio, se selecciona la alternativa que sus inversiones tengan un VAN positivo, siendo más interesante cuanto mayor sea el VAN (Fernández, 2002).

El método estático Pay back o Plazo de recuperación de una inversión (PRI) consiste en calcular el tiempo que tarda en recuperarse el desembolso inicial. El resultado sería el número de años en que se recupera la inversión, o desembolso inicial (Suárez, 1990; Weston, 2001; Fernández, 2002; Hernández, 2003).

En el caso de flujos de efectivos constantes, la fórmula a utilizar sería:

$$P = \frac{A}{Q} \quad (2.6)$$

donde A es el desembolso inicial y Q los flujos constantes de efectivo (neto)

Para evaluar económicamente la inversión de cada alternativa fue necesaria la definición previa de algunos aspectos, entre ellos: 1- La erogación financiera, desembolso inicial o inversión de cada equipamiento, 2- el período de la inversión (n), o número de años durante los cuales la inversión cumplirá los objetivos previstos, lo que se denomina vida útil, 3- el valor residual de la inversión al final de su vida útil (VR) y 4- los flujos netos de efectivo en cada año (Qj)

Para la selección de la alterativa factible se empleó como criterio de selección aquella que satisfaga los requerimientos para el manejo de los residuos sólidos y que a su vez sea el más económico posible.

2.4.2. Valoración de la repercusión ambiental de alternativa.

Se valora la conveniencia de que algunos de los componentes de los residuos sólidos sean aprovechados en sectores de la economía. La propuesta constituyen prácticas de P+L en el proceso de gestión de los residuos sólidos. Se plantean consideraciones que muestran el efecto positivo de la implementación de las opciones de P+L propuestas.

Capítulo 3. Resultados y discusión.

3.1 Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

Con el objetivo de caracterizar la gestión de los residuos sólidos urbanos de la Universidad de Matanzas; así como identificar la situación actual, se desarrolla un diagnóstico exhaustivo de los elementos que componen la gestión integral de los mismos.

3.1.1 Descripción físico geográfica y social de la institución.

La Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", ubicada en el km. 3½ de la Autopista a Varadero está constituida por seis Facultades (Ingenierías Química - Mecánica, Ciencia Sociales y Humanidades, Industrial - Economía, Agronomía, Informática y Cultura Física, aunque esta última pertenece al INDER está ubicada dentro del Campus Universitario). Las cuatro Vicerectorías están estructuradas en: Docente (VRD), de Economía (VRE), de Alimentación y Servicios (VRAS) y la de Investigación y Postgrado (VRIPG). El centro cuenta con siete Centros de Estudios que desarrollan sus investigaciones en: Medio Ambiente (CEMAM), Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Combustión y Energía (CECYEN), Biotecnología (CEBIO), Turismo (CETUR), Producción Enzimática (CETENZ) y Educación Superior (CEDE). Además se cuenta con una Planta Piloto para la Producción de Anticorrosivos y Tensoactivos y una Planta Piloto para la producción de alcoholes, ambas pertenecientes a la Facultad de Ingenierías Química - Mecánica. Existen otras áreas de apoyo a la docencia y de servicios tales como: ATM, imprenta, mantenimiento especializado, mantenimiento constructivo, transporte, departamento de extensión universitaria, cafeterías, cocina, comedores, residencias estudiantiles, Centro de Información Científico Técnico (CICT), hospital y hotel universitario. La Universidad está enclavada en el Jardín Botánico de Matanzas, único de la provincia.

En total la Universidad abarca una superficie de 11 802,72 km². Sus coordenadas en el centro son: X= 447 724,641 y Y= 356 246,533

La matrícula total del centro en el curso 2009-2010 es de 4 145 estudiantes. La masa estudiantil la integran jóvenes de diferentes países. La plantilla total del centro es de 1 085 trabajadores, para una población total de 5 230. Además que por las características del centro, existe una población flotante vinculada a las actividades que se desarrollan en el mismo. Según criterio de Sánchez (2009) la Universidad de Matanzas por sus características, servicios, geografía, morfología y densidad de población debe ser considerado un centro urbano.

3.1.2 Estudio de Percepción.

La situación actual relacionada con las deficiencias del proceso de generación, recogida, transportación, tratamiento y eliminación de los residuos sólidos urbanos, se identifican en función del quehacer y criterio de la población universitaria y de los especialistas.

3.1.2.1 Percepción de la comunidad universitaria.

Para la realización de las encuestas se aplicaron los instrumentos mostrados en el anexo 1 dirigidas a estudiantes y trabajadores. Los principales resultados obtenidos de este trabajo se resumen a continuación:

El 100 % de los encuestados sabe qué son los residuos sólidos, conocen la importancia de proteger al medio ambiente y cuáles son los más dañinos. Aunque existen criterios particularizados, más de la mitad de la población encuestada coincide que todos los residuos son perjudiciales. Casi $\frac{3}{4}$ de la población encuestada (75 %) coincide que la inadecuada disposición de los residuos sólidos produce impacto sobre todos los medios (suelo, aire y agua).

Existe un conocimiento casi total de que el inadecuado manejo de los residuos sólidos ocasiona enfermedades, prevaleciendo el criterio en los trabajadores (95,3%). Si bien todas las enfermedades son identificadas con esta problemática, son las enfermedades infecto-contagiosas, las respiratorias y las diarreicas las que mayores porcentajes señalan.

La población encuestada coincide en la existencia de deficiencias en la gestión de los residuos sólidos en la Universidad. El 45,6 % de los estudiantes y un 51,4 %

..... **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

de los trabajadores opinan que las mayores dificultades están en la recolección, almacenamiento y la transportación, con respecto a los restantes elementos de gestión. En relación a los restantes elementos de gestión no existe uniformidad de criterio entre la población estudiantil y la de trabajadores.

Entre las deficiencias más mencionadas se destacan: demora en la recogida, falta de voluntad y conciencia ambiental, acumulación de residuos sólidos, falta de medios de transporte para la recogida, no se recuperan los residuos sólidos, ausencia de tratamiento y que no existen depósitos adecuados para la recogida. Se puede señalar que hay una elevada disposición a colaborar en la separación y clasificación en el origen de los residuos sólidos, aunque todavía hay un 15,6% de estudiantes que no presenta voluntad para la acción, ni conciencia ambiental para asumir esta tarea.

Según criterio de los encuestados (87,4% de la población estudiantil y el 68,6% de la laboral) la calidad y cantidad de recipientes que se necesita para la recogida de los residuos sólidos en su área no es la adecuada. Existe consenso en que los recipientes que existen están en condiciones de regular a muy malos, prevaleciendo el criterio de Regular y Malos. Son pocos los trabajadores que plantean que están entre las categorías de Excelentes a Buenas condiciones y los estudiantes apenas consideran estas categorías. Estas diferencias pudieran estar dadas por las condiciones de vida laboral existentes en las áreas de trabajo con respecto a la beca y los edificios de aulas.

Si se tiene en cuenta los criterios sobre la información que debe recibir la comunidad universitaria respecto al tema de programas de control ciudadano sobre residuos sólidos, no existen conocimientos al respecto. Aunque existe diversidad de criterio sobre quién debe ser el responsable de informar a la comunidad universitaria, es generalizado y casi total el criterio que es la Universidad la principal responsable de que exista una comunicación efectiva sobre la problemática existente.

En cuanto a la divulgación de la temática es criterio de los trabajadores que la misma no se aborda en los medios de comunicación, por lo que se insiste en la

responsabilidad de la Universidad referida a la divulgación y comunicación sobre el tema. El autor considera que la divulgación e información no debe ser responsabilidad de alguien en particular, sino de todos los profesores en general y particularmente debe crearse un equipo multidisciplinario para el éxito de la comunicación.

Más del 70 % de la población encuestada desconoce el destino final o la evacuación que se le da a los residuos sólidos que se generan en la Universidad. Sólo el 18 % de los estudiantes y el 27 % de los trabajadores exponen saber cuál es el destino. Sin embargo los destinos mencionados demuestran que no todos los que creen conocerlos están en lo cierto. Los destinos con mayor frecuencia mencionados son: microvertederos, Empresa de Materia Prima, Porcino, vertedero de la Universidad.

La respuesta de los estudiantes relacionadas con el conocimiento que tiene sobre si los residuos sólidos se clasifican, se recuperan, se procesan y si se recogen diariamente demuestra el desconocimiento que tienen con respecto a la gestión de los residuos sólidos en la Universidad. Los trabajadores exponen un criterio más verídico.

Los residuos sólidos señalados como los de mayor frecuencia de generación son: papel y cartón, plásticos, residuos de comida y las latas de aluminio. De ellos es el papel y el cartón el único clasificado como generado muy frecuentemente, resultado lógico si se tiene en cuenta el objeto social de la Universidad. El resto de los residuos sólidos se generan solo en ocasiones para los estudiantes o nunca para los trabajadores. La diferencia entre los criterios de estudiantes y profesores radica en el quehacer de cada uno.

Se considera, de forma general, que la comunidad universitaria se preocupa y vela por la higiene de la UMCC, y se manifiesta en contra de la creación de los microvertederos. La gestión de forma general es evaluada por la comunidad universitaria de Regular, y en particular los estudiantes clasifican el tratamiento y la eliminación de muy mala.

3.1.3 Cuantificación y Caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos de la UMCC.

3.1.3.1. Cuantificación de los Residuos Sólidos Urbanos.

En la tabla 3.1 se refleja la cuantificación por porcentaje de los residuos sólidos urbanos estudiados.

Tabla 3.1. Cuantificación de los residuos sólidos urbanos de la UMCC (feb/09 – feb/10).

Fecha	Plástico %	Vidrio %	Lata %	Papel %	Metal %	Comida %	Hojas y Ramas %
feb-09	6,23	11,87	6,71	7,20	10,60	48,64	8,75
mar-09	4,09	8,84	5,67	6,92	12,01	54,21	8,26
abr-09	2,75	22,50	5,13	12,44	14,03	37,85	5,29
may-09	3,35	23,46	6,54	10,50	11,73	38,27	6,15
jun-09	2,60	23,13	4,37	11,68	19,65	33,45	5,13
jul-09	2,07	14,39	3,13	18,59	22,53	35,67	3,63
ago-09	5,24	9,89	7,32	19,68	9,69	43,22	4,95
sep-09	3,72	14,28	3,93	21,42	15,55	38,76	2,35
oct-09	1,72	13,72	4,97	20,54	8,55	45,06	5,43
nov-09	4,58	7,17	7,64	14,67	6,51	52,46	6,97
dic-09	5,15	6,76	5,07	16,30	6,67	57,35	2,70
ene-10	7,82	7,30	6,33	14,98	7,38	45,23	10,95
feb-10	7,39	5,03	5,42	15,96	7,94	47,80	10,46
promedio-anual	4,36	12,95	5,56	14,68	11,76	44,46	6,23

Fuente. Propia.

Aunque varios autores (Lund, 1996; Seoanéz, 2000) reportan la composición de los residuos sólidos urbanos para países en vías de desarrollo (tabla 3.2), al compararlos con los valores obtenidos se demuestra que no puede definirse una composición estándar. Como se observa existen diferencias en el comportamiento

del porcentaje de las fracciones, independientemente de que el comportamiento es similar en cuanto a la prevalencia de fracciones más representadas. En todos los casos son los residuos de comida, el papel y cartón, los plásticos, los vidrios y los metales los de mayor porcentaje en la composición de estos residuos, comportamiento que se refleja en la misma magnitud en la composición de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

Tabla 3.2. Comparación de la composición de los residuos sólidos urbanos.

Tipo residuos sólidos urbanos	1	2	México ³	UMCC
Papel/cartón	3-45	1-5	24	14,68
Metales	2-10	0,7-1,6	4	11,76
Vidrios	4-16	1-3,8	-	12,95
Plásticos	3-45	3,8-7,4	11	4,36
Madera	1-4	0,1-1	-	-
Residuos de Comida	6-26	58-80,2	41	44,46
Residuos de Jardín	-	-	-	6,23
Neumáticos/gomas	0-2	0,2-1,4	-	-
Textiles	0-4	2-4,1	7	-
Latas de Aluminio	-	-	-	5,56

Fuente: 1- Lund (1996), 2-Seoanéz (2000), 3- Robles (2005)

Si se compara la composición de los residuos estudiados con la reportada en la bibliografía (Nuñez, 2009) para los residuos sólidos urbanos de Cuba (tabla 3.3) se puede observar que la diferencia es mínima para las fracciones de materia orgánica y el papel-cartón. Sin embargo se reportan mayores fracciones de metales y vidrio en la UMCC que en la composición promedio del país. Estas diferencias pudieran estar dadas por las características estructurales y funcionales de la institución en cuestión.

De lo anterior se puede concluir que, si bien estas composiciones pueden ser recomendadas como indicativas de valores aceptables, en la composición de los

..... **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

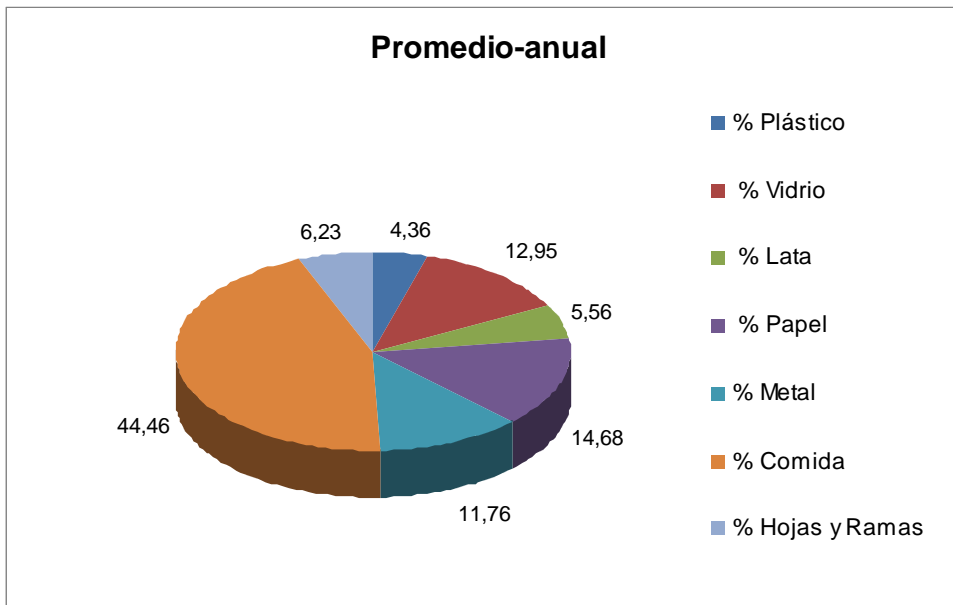
residuos sólidos urbanos, hay que tener en cuenta la intervención de factores de tipo histórico, económico, político, social, natural, ecológico y cultural en general. Entre estos factores las características de la población, la época del año y el nivel social constituyen las principales circunstancias modificadoras de la composición de los residuos sólidos urbanos. Esta última influye no solo en su composición sino también en su cantidad.

Tabla 3.3. Progresión histórica de la composición de los residuos sólidos urbanos en Cuba.

Componentes	Resultados obtenidos (%)				UMCC
	1969- 1973	1975- 1979	1980- 1983	1989- 1995	
Materia Orgánica	50,7	47,2	37,3	48,8	50,7(comida y hojas-ramas)
Papel y Cartón	24,2	20,0	27,3	18,6	14,7
Plásticos	0,7	1,9	4,2	4,3	4,4
Metales	7,0	6,7	6,0	3,8	17,3
Vidrio	1,9	5,6	3,7	5,1	12,9
Desperdicios textiles	4,7	3,4	6,9	4,9	-
Madera	3,6	3,7	2,4	1,8	-
Goma	0,4	1,0	0,3	1,2	-
Huesos	0,5	0,7	0,6	1,1	-
Escombros	5,5	9,2	9,8	8,4	-
Cuero	0,8	1,6	1,5	2,0	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: (Núñez., 2009)

En la figura 3.1 aparecen representados los valores promedios anuales de cada fracción.



Fuente. Propia.

Figura 3.1. Porcentaje promedio anual de la fracción de residuos sólidos urbanos de la UMCC.

Como se observa en la figura 3.1, el mayor porcentaje de residuos sólidos que se genera en la Universidad se distribuye en restos de comida, seguido de papel y cartón, vidrio y los metales, y en menor proporción las hojas y ramas, las latas de aluminio y los plásticos. Este resultado coincide con el obtenido en las encuestas aplicadas a la comunidad universitaria, con la diferencia que los trabajadores y estudiantes identifican a la fracción de mayor frecuencia de generación al papel y cartón. Si se analiza el objeto social de la Universidad puede parecer lógico este último resultado pero la cuantificación indica que no es precisamente este componente el de mayor generación. La alta generación de los restos de comida se debe a las nuevas regulaciones respecto a la restricción de la alimentación a estudiantes externos, estudiantes del Curso Regular por Encuentro (CRE) y población flotante que propicia un uso más intenso y de explotación de los servicios de cafetería en estos últimos tiempos. Además la percepción errada de la población en cuanto a la generación de restos de comida está vinculada al poco conocimiento que ésta tiene de los residuos que se generan en los comedores de la Universidad en los horarios de almuerzo y comida. Hay que destacar que, si

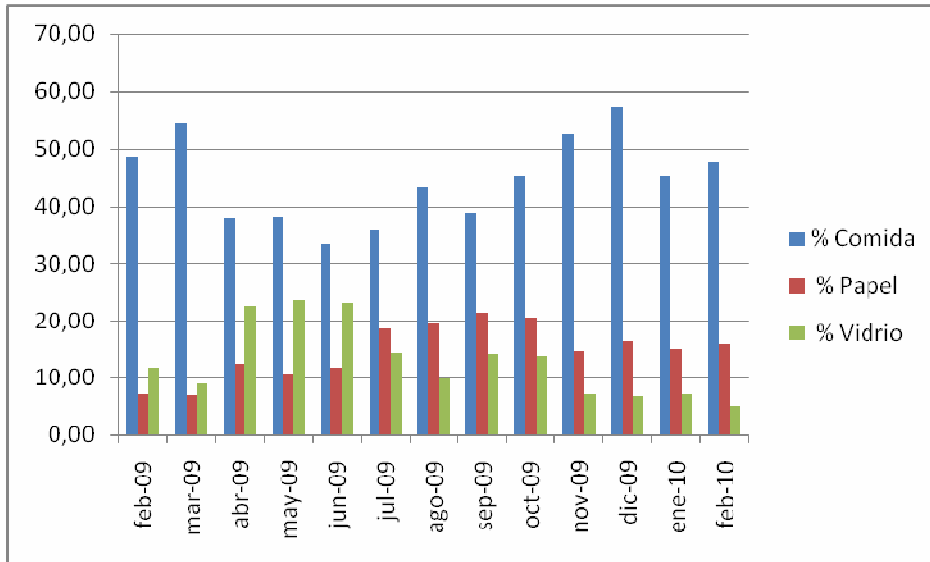
..... **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

bien se cuantificaron todos los restos de comida que se generan, una parte no identificada de estos residuos se destina a la alimentación animal porcina, lo que indica que no toda la fracción cuantificada llega al vertedero. A pesar de que la composición de hojas y ramas no es elevada, es de destacar que la Universidad se encuentra en el único Jardín Botánico de la provincia, caracterizado por una significativa variedad de especies de plantas, representadas por varios ejemplares de cada una. El bajo porcentajes de este componente se debe a que en su mayoría los restos de hojas y ramas que se recogen con los residuos sólidos son los que se acumulan luego de las limpiezas de áreas verdes, caminos y viales internos, sin embargo la mayoría que se genera alrededor de las plantas y árboles no se recoge pues constituyen enmienda orgánica para los mismos.

El comportamiento de la composición mensual refleja fluctuaciones en los resultados. En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran el comportamiento mensual de cada componente. Como se observa se obtiene un pico de generación para la comida en los meses de las temporadas de otoño-invierno (noviembre a marzo), la disminución posterior se relaciona con el aumento de las temperaturas lo cual propicia una disminución de este parámetro. El incremento de las temperaturas a partir de esta época produce un aumento de la generación del vidrio, dado fundamentalmente por el consumo de bebidas envasados en frascos de este material que son adquiridos en el punto de venta en divisas ubicado en áreas de la Universidad o introducidos desde otras fuentes de venta externas. La fracción de papel y cartón tiene su máxima generación entre los meses de julio a octubre lo que coincide con el término e inicio del curso escolar que demanda de mayor empleo de este componente, volviendo a elevarse en los meses de enero y febrero que es la etapa de cambio de semestre.

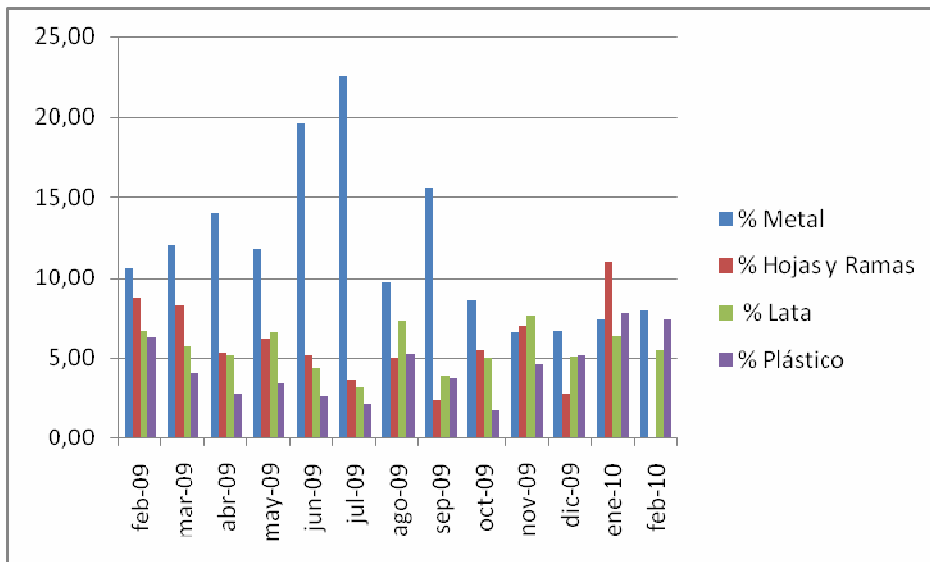
El resto de los componentes se comportan indistintamente por lo que se obtienen picos de máximos y mínimos en diferentes períodos anuales lo que confirma que su comportamiento depende de la época del curso escolar y de factores externos e internos de la institución que se analice. En el caso del metal, este se genera en su mayoría en las áreas de mantenimiento, transporte y laboratorio de Mecánica y

su generación depende de la época del año en que se hace un mayor uso de los tornos.



Fuente. Propia.

Figura 3.2. Comportamiento del porcentaje promedio mensual de la fracción de restos de comida, papel y cartón y vidrio.



Fuente. Propia.

Figura 3.3. Comportamiento del porcentaje promedio mensual de la fracción de metales, hojas y ramas, latas y plásticos.

3.1.3.1. a. Análisis estadístico de la cuantificación de los residuos sólidos de la UMCC.

En la tabla 3.4 se muestra los resultados del análisis estadístico de la cuantificación de los residuos sólidos urbanos estudiados.

Tabla 3.4. Comportamiento estadístico de la cuantificación por componente de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

	Plástico %	Vidrio %	Lata %	Papel %	Metal %	Comida %	Hojas y Ramas %
Media	4,36	12,95	5,56	14,68	11,76	44,46	6,23
Varianza	3,79	41,96	1,76	22,67	25,08	55,78	7,49
Desviación Standard	1,95	6,48	1,33	4,76	5,01	7,47	2,74
Mínimo	1,72	5,03	3,13	6,92	6,51	33,45	2,35
Máximo	7,82	23,46	7,64	21,42	22,53	57,35	10,95
Rango	6,10	18,43	4,51	14,50	16,02	23,90	8,61
Std. skewness	0,69	1,01	-0,20	-0,40	1,56	0,34	0,57
Std. kurtosis	-0,53	-0,63	-0,41	-0,66	0,29	-0,73	-0,53
Coeff. of variación	44,65%	50,02%	23,86%	32,42%	42,59%	16,80%	43,91%

Fuente. Propia.

Para determinar la normalidad de los resultados se emplearon las variables asimetría estandarizada (Std. skewness) y curtosis estandarizados (Std. kurtosis), las cuales pueden ser utilizadas para determinar si de la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estas variables fuera del rango entre -2 a +2 indican salidas significativas de la normalidad. En este sentido, el análisis refleja que todas las variables presentan una distribución normal, ya que en todos los casos ambas variables están dentro del rango esperado. Estos resultados indican que el tamaño de la muestra tomada resulta suficiente para asegurar el comportamiento anual de cada variable en la cuantificación.

El coeficiente de variación (CV) relaciona la varianza de cada una de las variables con su media y facilita valorar cuán estables resultan. El análisis de los coeficientes de variación de cada componente permite apreciar que todas las fracciones se comportan inestablemente, y por tanto presentan dispersión con respecto a su media. Aunque todos muestran elevados CV, los componentes más representativos con los mayores valores son el vidrio, plásticos, hojas/ramas y los metales. Dicho comportamiento se debe a las fluctuaciones en la generación, aspecto que quedó reflejado en el análisis del epígrafe anterior. La menor variación la experimenta el contenido de residuos de comida lo que unido a su alto porcentaje promedio anual (44,5 %) da idea de la estabilidad en su generación.

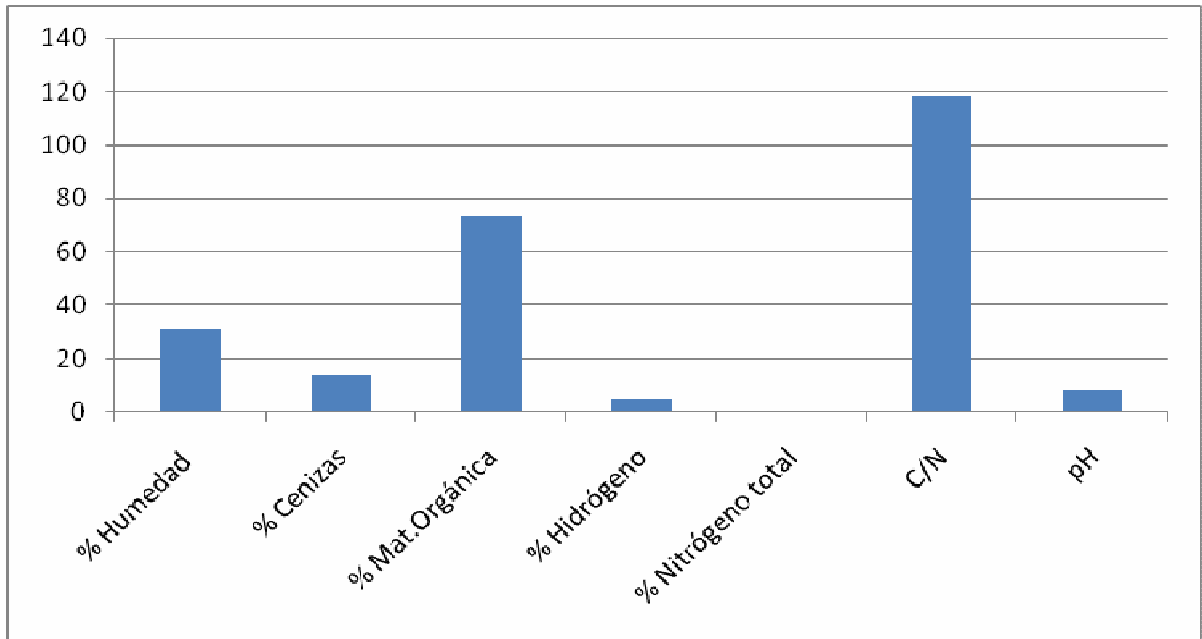
3.1.3.2. Caracterización de los residuos sólidos urbanos de la UMCC

En la tabla 3.5 se reporta la caracterización físico-química de los residuos sólidos urbanos que se generan en la Universidad. Los valores representados constituyen el porcentaje (%) de cada parámetro. En la figura 3.4 se muestran los valores promedios de cada análisis.

Tabla 3.5. Caracterización físico-química de los residuos sólidos urbanos de la UMCC (%).

Muestra	Humedad	Ceniza	Mat. Orgánica	Hidrógeno	Nitrógeno Org.	Relación C/N	pH
1	32,716	23,535	73,541	4,903	0,653	65,335	7,2
2	59,668	19,258	70,376	4,692	0,552	73,942	7,8
3	39,508	19,362	71,912	4,794	0,623	66,895	7,7
4	31,315	12,906	73,181	4,879	0,654	64,855	8,7
5	23,838	15,479	70,712	4,714	0,423	96,917	7,7
6	38,192	9,685	69,792	4,653	0,709	57,133	8,7
7	27,464	11,885	77,346	5,156	0,300	149,715	8,4
8	15,113	7,956	73,725	4,915	0,254	168,028	7,8
9	19,660	8,765	78,920	5,261	0,300	152,671	8,6
10	25,535	10,345	73,539	4,903	0,149	286,495	7,6
Promedio	31,3009	13,9176	73,3044	4,8870	0,462	118,199	8,02

Fuente. Propia.



Fuente. Propia.

Figura 3.4. Valores promedios de las características físico-químicas de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

No obstante a que en el territorio las menores precipitaciones se registran normalmente en el periodo de muestreo (febrero y marzo) (Álvarez, 2009), en la caracterización se obtienen valores de humedad aceptables con porcentajes medios que oscilan entre 20 y 60 %. La diferencia de los valores se debe a las precipitaciones ocurridas en el período, las cuales estuvieron asociadas, fundamentalmente, al paso de frentes fríos y a la influencia de organismos meteorológicos subtropicales de bajas presiones, fenómeno característico durante los meses de diciembre a marzo (Álvarez, 2009).

La determinación de cenizas e hidrógeno se emplea usualmente en el análisis elemental para caracterizar la composición química de la materia orgánica de los residuos sólidos. También se utiliza para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesarias para conseguir relaciones C/N aptas para los procesos de conversión biológica. Valores de cenizas entre 7,9 y 23,5 % y de hidrógeno entre 4,6 y 5,3 % indican bajos contenidos de estos componentes. El contenido de cenizas se debe a la existencia de componentes minerales e inorgánicos

constituidas por materia inerte presentes en las muestras. La caracterización de los residuos sólidos en cuanto al contenido de cenizas, humedad e hidrógeno constituyen referencias para futuras alternativas de gestión de manejo de estos materiales relacionadas fundamentalmente con tratamientos químicos de descomposiciones térmicas en los que se transforma y/u oxida el material en procesos de combustión, pirólisis o incineración. La mayor o menor pérdida de masa en función del incremento de la temperatura en estos procesos se encuentra influenciada por el contenido de volátiles y humedad presente en la matriz del residuo. Por otra parte estos procesos persiguen reducir al máximo el volumen de residuo y aprovechar el poder calorífico de la materia para generar energía que puede ser utilizada en otros procesos, siempre que se valore la adecuada gestión de los residuos del proceso oxidativo (cenizas) y la afectación debido a la producción de compuestos oxigenados gaseosos, potencialmente riesgosos para la salud y el medio ambiente.

El porcentaje de materia orgánica que se encuentra en un rango de 69 a 78 %, se corresponde con los resultados de la cuantificación, donde el 69,7 % pertenecen a restos de comida, papel y cartón, plástico, hojas y ramas. El contenido de materia orgánica y humedad se tienen en cuenta también para futuras alternativas de gestión de estos residuos, sobre todo en la aplicación de tratamientos biológicos como la lombricultura, el compostaje y la digestión anaerobia. En estos procesos se utilizan residuos sólidos con un elevado porcentaje de materia orgánica.

El contenido de nitrógeno orgánico (0,15 a 0,71 %) se encuentra en el intervalo de valores para este tipo de residuo, reportados por otros investigadores (Espinosa, 2008). Estos niveles de nitrógeno son necesarios valorarlos si se desea emprender la valorización biológica de estos residuos.

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para la aplicación de los residuos sólidos en métodos de tratamiento biológicos es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Como puede observarse la relación C/N en las muestras analizadas oscila entre 57 y 287 las cuales pueden considerarse elevadas para

estos tipos de tratamientos, lo que indica que existe menos contenido de nitrógeno que de carbono.

Este resultado se relaciona con el contenido de materia orgánica y el contenido de nitrógeno de los residuos sólidos analizados. El elevado contenido de materia orgánica respecto al bajo contenido de nitrógeno orgánico obtenido es indicador de que la materia orgánica presente en estos residuos está formada fundamentalmente por los elementos C-H-O y carece del nitrógeno. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero. Esta descripción confirma la elevada relación C/N obtenida, pues en los residuos muestreados no se encuentran ninguna de las fracciones ricas en nitrógeno.

Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad de los procesos biológicos. Para el compostaje teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, ya que en el proceso se pierde el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Sin embargo cuando la relación es alta es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado (Pérez, 2009).

Según Tchobanoglaus (2007), el pH constituye un parámetro y/o requisito ambiental para mantener la supervivencia y crecimiento de los microorganismos, sobretodo cuando se proponen tecnologías de conversión biológicas para la gestión de los residuos sólidos como el compostaje. La concentración de iones hidrógeno, expresada como pH, no afecta la acción microbiana dentro del rango de 6 a 9, aunque generalmente el pH óptimo para el crecimiento microbiano es entre 6,5 y 7,5. Como puede observarse el promedio de este parámetro alcanzado en la caracterización es de 8,02 lo que puede considerarse aceptable a pesar de que se encuentra ligeramente mayor al límite máximo superior del rango establecido.

3.1.3.2. a. Análisis estadístico de la caracterización de los residuos sólidos de la UMCC.

En la tabla 3.6 se muestran los resultados del análisis estadístico de la caracterización de los residuos sólidos urbanos estudiados.

Tabla 3.6. Comportamiento estadístico de la caracterización de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

	Humedad	Ceniza	Mat. Orgánica	Hidrógeno	Nitróg Org.	C/N	pH
Cant de Muestra	10	10	10	10	10	10	10
Media	31,30	13,92	73,30	4,89	0,46	118,2	8,02
Varianza	158,08	27,89	8,64	0,04	0,04	5 266,78	0,28
Desviación Standard	12,57	5,281	2,939	0,20	0,20	72,57	0,53
Mínimo	15,11	7,96	69,79	4,65	0,15	57,13	7,2
Máximo	59,67	23,54	78,92	5,26	0,71	286,50	8,7
Rango	44,56	15,58	9,13	0,61	0,56	229,36	1,5
Std. skewness	1,55	0,89	1,09211	1,09	- 0,31	1,97	0,19
Std. curtosis	1,40	-0,50	0,099	0,10	- 1,08	1,52	-0,93
Coeff. of variación	40,17%	37,95%	4,01%	4,01%	43,5 %	61,4 %	6,6%

Fuente. Propia.

Como se puede observar todos los parámetros analizados presentan una distribución normal por lo que se puede definir que 10 muestras analizadas en el periodo estudiado (febrero y marzo), son suficientes para asegurar el comportamiento fisico-químico de los residuos. No obstante, debido a la inestabilidad de generación de los componentes, obtenida en la cuantificación anual, se sugiere que debe realizarse una caracterización más profunda en el transcurso del curso escolar para asegurar este comportamiento.

El contenido de cenizas, humedad, nitrógeno orgánico y la relación C/N presentan elevados CV, lo que revela inestabilidad de estos resultados con respecto a su media. Esta variación puede estar influenciada por cambios en las condiciones meteorológicas y en las fluctuaciones en cuanto a la generación de las fracciones que componen los residuos sólidos. El contenido de materia orgánica, hidrógeno y pH presentan bajos CV (4,01 %), lo cual es indicador de la estabilidad en la

composición de estos elementos, no obstante a la inestabilidad en la generación de los componentes que lo condicionan (restos de comida, papel y cartón, plástico y hojas y ramas).

3.2. Análisis del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos (SGRS) en la UMCC.

En la Universidad de Matanzas el departamento responsabilizado con la gestión de los residuos sólidos urbanos es la dirección de Servicios Generales de la Universidad, la cual se encarga de la recolección de los residuos sólidos procedentes de todos los locales de la misma y centros de investigación, así como de la limpieza de vías y áreas públicas y todas las etapas que incluyen la gestión de los residuos sólidos.

3.2.1. Etapas de la gestión de los residuos sólidos en la UMCC.

Para evaluar el funcionamiento de las etapas de la gestión de los residuos sólidos en la Universidad se tiene en cuenta los aspectos contemplados en las Normas Cubanas NC 133, 134 y 135 del 2002. Es necesario valorar, además, la legislación cubana en materia de residuos sólidos que se resumen en el anexo 6.

3.2.1.1. Generación y Almacenamiento de los residuos sólidos.

La norma cubana NC 133: 2002 define que la acumulación de residuos sólidos debe realizarse en los lugares donde se producen los mismos o en lugares aledaños a estos, donde se mantienen hasta su posterior recolección. Se establece que los recipientes colectivos que se utilizan para el almacenamiento de los residuos sólidos deben ser impermeables, libres de agujeros o hendiduras que propicien la salida de todo o parte del contenido. Además define que los residuos no putrescibles recuperables (frascos, vidrios, metales, papeles, cartones, maderas, plásticos y otros) deben almacenarse en orden y clasificarse en los depósitos destinados a este fin. Los lugares de almacenamiento y/o acumulación deben ser adecuados de forma tal que no constituyan criaderos o guaridas de artrópodos o roedores, hasta el momento de su traslado.

..... CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La generación y almacenamiento de los residuos sólidos de la Universidad no cumple con los requerimientos de la norma. Estas etapas de la gestión se desarrollan con deficiencias. En la actualidad la Universidad no cuenta con suficientes recipientes internos y externos para la recepción de los desechos sólidos. Los recipientes internos ubicados en los locales de edificios son mayoritariamente métodos alternativos como bolsas de nylon, cubos privados, cestos manufacturados y cajas de cartón. Esta diversidad de recipientes hace que la recogida no se efectúa de forma uniforme.

Para la recogida en las áreas externas se emplean supiaderos, contenedores plásticos (en zonas aledaña al punto de venta), tanques cilíndricos de 55 gal y cestos metálicos. Los supiaderos se encuentran ubicados aledaños a los edificios de las residencias estudiantiles, delimitados por construcciones de madera y cartón con piso de cemento, las que propician el desarrollo de vectores y generación de malos olores, afectando por consiguiente la estética paisajística del entorno.

Además en áreas externas pueden encontrarse puntualmente otros tipos de recipientes no convencionales similares a los que se utilizan en las áreas internas (cajas de cartón, bolsas de nylon, cubos, otros). La diversidad de estos recipientes y las características de los vehículos para la recogida hacen que los tiempos de operación se incrementen y atente contra la salud de los operarios. Tanto el almacenamiento interno como el externo son realizados por la población universitaria, así como por las auxiliares de limpieza de cada área.

En ningún caso el almacenamiento de los residuos se realiza de manera selectiva, lo que no permite la recuperación de las fracciones que pudieran ser aprovechadas con otras finalidades con el fin de minimizar gastos de recursos. Según Sánchez (2009) y la observación del autor los puntos de generación y almacenamiento más graves son los que están ubicados a escasos metros de las residencias estudiantiles y cafeterías.

3.2.1.2. Recolección y transportación de residuos sólidos.

Según la NC 133:2002 la recolección y transportación incluye el traslado de los residuos sólidos en vehículos destinados a este fin, desde los lugares de almacenamiento hasta el sitio donde serán dispuestos, con o sin tratamiento previo. La recolección de residuos sólidos para su disposición final será realizada en los puntos de almacenamiento. La recogida será diariamente o en días alternos.

Para la recolección de los residuos sólidos de la Universidad no se dispone del personal necesario para realizar este servicio. En la actualidad se cuenta con una brigada de 11 trabajadores por plantilla que recolectan los residuos depositados frente a los edificios.

La frecuencia de recolección es de dos o tres veces a la semana, la cual depende de la disponibilidad del transporte, lo que provoca la acumulación de residuos sólidos, el criadero de vectores y la afectación de la estética de las áreas externas de la Universidad. La recogida de los residuos sólidos se hace de forma conjunta por lo que todos reciben la misma gestión, en los que se incluyen los residuos peligrosos que se generan en el hospital universitario. Estos residuos deben ser almacenados y recogidos separados del resto de los residuos en bolsas cerradas de polietileno (color especial), para evitar en lo posible el derrame de su contenido y el contacto por parte del personal de recolección. De forma general, existe un mal manejo de los Residuos Sólidos Hospitalarios, no se aplica la normativa legal vigente en Cuba (NC 530: 2007) donde se determinan las especificaciones para el manejo efectivo de los desechos hospitalarios

En la actualidad el servicio de recogida de los residuos sólidos de la Universidad no se contempla por la Dirección de Servicios Comunes municipal, en este caso se efectúa por el personal designado por la dirección de la Universidad (obreros de áreas verdes), los cuales pese a los esfuerzos que realizan no cuentan con las condiciones necesarias para poder realizar la actividad como se requiere. La limpieza de vías y áreas públicas se realiza de forma manual, los desechos se apilan o almacenan en la misma área donde son generados y posteriormente son

..... CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

recogidos. La limpieza de áreas verdes se realiza de forma manual (machetes) y mecánica (tractor con chapeadora, tractor picolino y cortadora de césped). Los trabajadores cuentan con algunos implementos de trabajo como guantes y palas, sin embargo carecen de otros medios de protección como tapabocas, batas o delantales. Al valorar lo planteado, y a pesar de que no cuentan con todos los medios requeridos para el desarrollo de estas actividades, se evidencia la preocupación del centro en el cumplimiento con la Ley 13 de Protección e Higiene del Trabajo de 1977. No obstante como deficiencia se detecta la falta de conocimiento por parte de los trabajadores acerca de cómo debe realizarse la manipulación de los desechos y la ausencia de un procedimiento de seguridad para el manejo de los residuos sólidos. Como aspecto positivo se debe destacar el programa de vacunación y los exámenes médicos preventivos que se les realizan a los trabajadores con periodicidad, lo cual concuerda con lo planteado en las normas OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional) ISO 18001 del 2007.

A continuación se describe cómo debe realizarse la etapa de recogida en la Universidad:

Recogida de residuos domiciliarios y asimilables, procedentes de las áreas de la Universidad que incluye los edificios de servicios (cafeterías, cocina-comedores, hospital, hotel universitario), edificio de facultades, administrativos, residencias estudiantiles, aulas, transporte, biblioteca, laboratorios, etc.

2- Recogida de residuos especiales: procedentes del hospital universitario. Estos residuos son altamente peligrosos, clasificados como infecciosos.

3- Recogida de residuos industriales: los procedentes de materiales de desechos producidos en la Planta Piloto (subproductos de procesos productivos).

4- Recogida de los residuos de jardinería, limpieza de áreas verdes, de vías y áreas públicas.

La NC 133: 2002 establece que los vehículos destinados a la recolección y transportación de los residuos sólidos, serán cerrados y sólo se destinarán a este fin. La recolección de residuos sólidos en camiones abiertos, carros de tracción

animal o remolques movidos por tractor, serán cubiertos por una lona o papel encerado, para evitar su derrame durante el traslado al sitio de disposición final.

Los vehículos que se utilizan en la Universidad no son los más idóneos pues no presentan las condiciones técnicas necesarias para esa función. Actualmente se cuenta para la recogida con un camión y/o un tractor abierto con carreta de barandas bajas lo cual provoca, favorecidas por el viento, el desborde de los residuos.

3.2.1.3. Tratamiento de residuos sólidos.

El tratamiento de los residuos sólidos es el conjunto de procesos y operaciones mediante los cuales se modifican las características físicas, químicas y microbiológicas de los residuos sólidos, con la finalidad de reducir su volumen y las afectaciones para la salud del hombre, los animales y la contaminación del medio ambiente (NC 134:2002)

Los residuos sólido generados en el centro no cuenta con ningún método tratamiento pues los mismos no son transformados para su aprovechamiento por incineración, reciclaje, compostaje, lombricultura, entre otros.

3.2.1.4. Disposición final.

La NC 135:2002 define la disposición final como “Proceso final de la manipulación de los residuos sólidos” y establece dentro de los requisitos generales que:

- Para la implantación de un sistema de disposición final de residuos sólidos es imprescindible contar con la aprobación de la autoridad sanitaria competente.
- Los vertederos estarán cercados, cerrados para impedir el acceso de personas ajenas y animales, estarán señalizados con buenos caminos de acceso, puerta de entrada, caseta con agua para la actividad administrativa y el aseo personal.
- Las instalaciones de disposición final de residuos sólidos estarán ubicadas respecto a los límites de las zonas habitables a no menos del radio mínimo admisible de protección sanitaria (Lo) establecido por la Norma Cubana NC

111:1999. Para vertederos con rellenos sanitarios para desechos sólidos la norma establece que el radio mínimo admisible de protección sanitaria es de 1 000 m.

- Las instalaciones de tratamiento y disposición final de residuos sólidos quedan obligadas a implantar medidas correctoras sobre el impacto visual y paisajístico durante la explotación.
- En los lugares de tratamiento y disposición final de residuos sólidos se realizará la recuperación de materias primas con los medios de protección adecuados y con la aprobación de la autoridad sanitaria competente.
- Los residuos sólidos biológicos infecciosos procedentes de unidades de salud y otras instituciones se soterrarán en trincheras o fosas de los rellenos sanitarios destinados a este fin.

La disposición actual de los residuos sólidos en la Universidad no cumple con ninguno de estos requisitos sanitarios que establece la norma. Como no existe convenio con la Empresa de Comunes de Matanzas los residuos sólidos de la Universidad son dispuestos por la brigada de recolección en un microvertedero ubicado dentro del campus universitario, a escasos metros del área de autoconsumo y no se encuentra cercado ni señalizado, incumpléndose así las normas establecidas para la ubicación de los mismos. En esta área se realiza la incineración de los residuos sólidos con el objetivo de disminuir el volumen de los residuos de jardín y papel y cartón. Con la aplicación de este método se viola lo establecido en la NC 134: 2002 la cual establece que “la incineración de los residuos sólidos debe realizarse en instalaciones diseñadas para tales efectos, las cuales deben ubicarse a sotavento de los núcleos urbanos, teniendo en cuenta el radio mínimo admisible de protección sanitaria”.

3.2.2. Identificación de los Problemas Ambientales relacionados con la gestión de los residuos sólidos en la UMCC.

Al valorar los resultados obtenidos del estudio de percepción y el análisis del sistema de gestión, se detectan deficiencias que influyen de manera significativa

..... **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

en las etapas esenciales de la gestión integral de los residuos sólidos. Si bien en el estudio de percepción la población clasifica el Sistema de Gestión de los residuos sólidos de la Universidad de regular, el análisis realizado en este epígrafe permite concluir que la misma puede ser clasificada de inadecuada (mal) pues en todas y cada una de las etapas se incumple con los requerimientos del sistema de normas de los residuos sólidos.

Las principales deficiencias detectadas en el sistema de gestión son:

- Falta de medios de transporte para la recogida.
- Ausencia de tratamiento.
- Acumulación de residuos sólidos debido a que no existen depósitos suficientes ni con la calidad adecuada para la recogida.
- Las fracciones recuperables que se generan no se separan ni aprovechan.
- El vertedero se encuentra dentro del área universitaria, por lo que se incumple con las normas establecidas para la ubicación de los mismos.
- El transporte que se utiliza para recoger la basura no es el idóneo.
- La frecuencia de recogida existente no es la más adecuada.

Según criterio de expertos, con un coeficiente de concordancia de Kendall de 0,75 las principales causas de la inadecuada gestión de los residuos sólidos de la Universidad son:

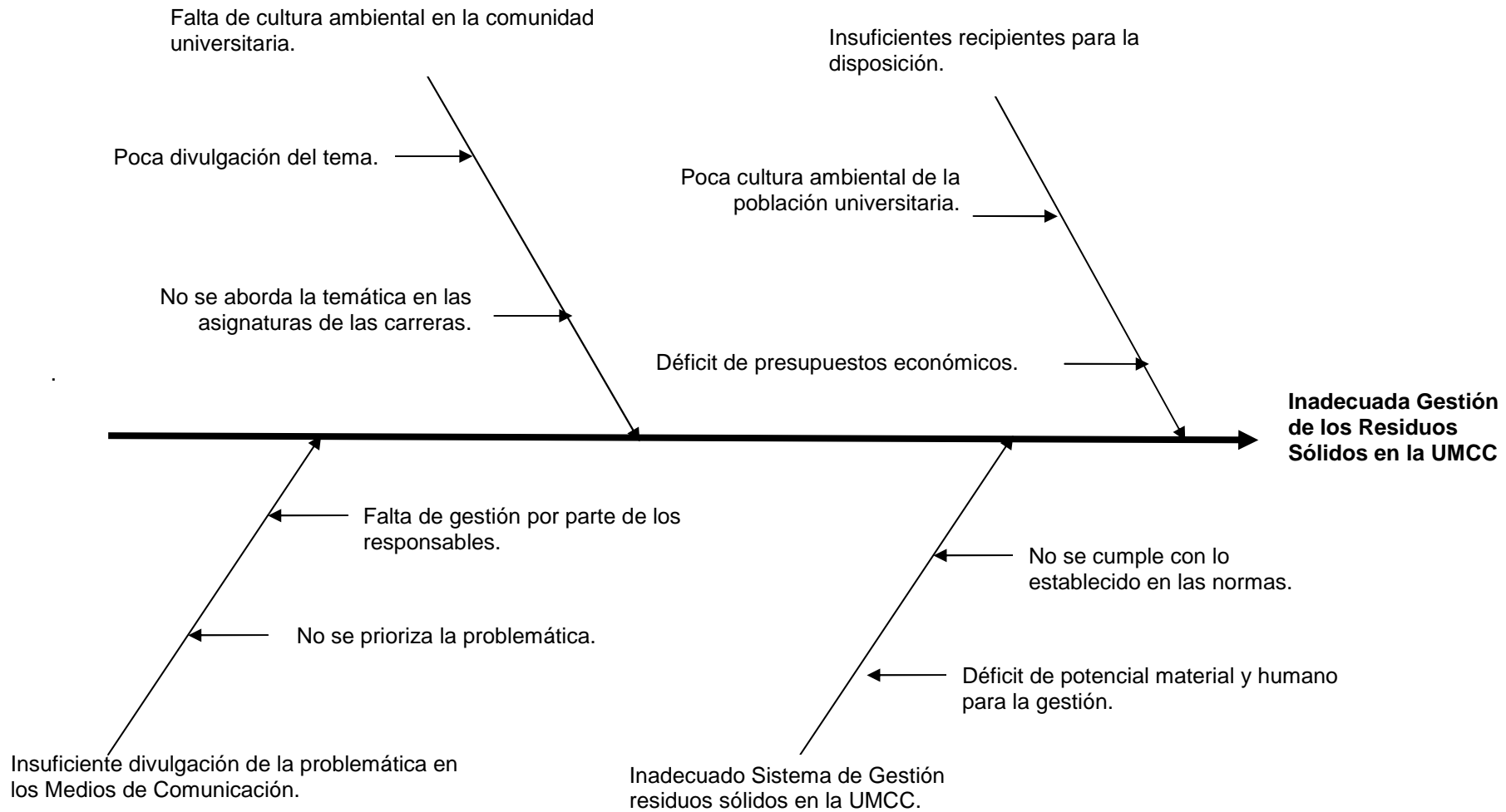
1. Falta de cultura ambiental en la comunidad universitaria.
2. Insuficientes recipientes para la disposición.
3. Insuficiente divulgación de la problemática en los medios de comunicación
4. Inadecuado Sistema para la Gestión de los residuos sólidos en la UMCC

A estas causas principales están relacionadas las subcausas que se enuncian a continuación:

- Falta de cultura ambiental en la comunidad universitaria.

- Poca divulgación del tema.
- No se aborda la temática en las asignaturas de las carreras.
- Insuficientes recipientes para la disposición.
 - Déficit de presupuestos económicos.
 - Poca cultura ambiental de la población universitaria.
- Insuficiente divulgación de la problemática en los medios de comunicación.
 - Falta de gestión por parte de los responsables.
 - No se prioriza la problemática.
- Inadecuado Sistema de Gestión RS en la UMCC.
 - No se cumple con lo establecido en las normas.
 - Déficit de potencial material y humano para la gestión.

La relación que existe entre la acción y las causas/subcausas se representa en el Diagrama de Ishikawa (figura 3.5).



Fuente. Propia.

Figura 3.5. Diagrama de Ishikawa (Causa - Efecto)

3.2.3. Puntos de evacuación y recogida.

Como las causas 1 y 3 están relacionadas con la educación ambiental de la población universitaria, se hará énfasis en las causas 2 y 3 con el objetivo de proponer las alternativas de gestión más adecuadas para estos residuos.

Relacionado con la insuficiente existencia de recipientes para la disposición, en recorridos realizados por toda la Universidad se localizaron los puntos de evacuación y recogida, distribuidos en todo el centro.

Se puede apreciar claramente que la cantidad de tanques de mayor capacidad son escasos, se cuenta solamente en la Universidad con 12 tanques cilíndricos de 55 gal. Sin embargo es de destacar que en los últimos meses la dirección de la Universidad se ha preocupado por la higienización de las áreas externas, y la Vice-rectoría de Administración y Servicios (VRAS) ha gestionado la compra de cestos metálicos adquiridos a un costo de 291 \$/u en la Empresa Metalúrgica “América Libre” ubicada en el municipio Máximo Gómez de la provincia de Matanzas. Se han distribuidos e instalados 40 cestos metálicos en todas las áreas lo que garantiza que mejore la imagen estética de la misma (Hernández, 2010).

Distribución de los 11 tanques cilíndricos de 55 gal:

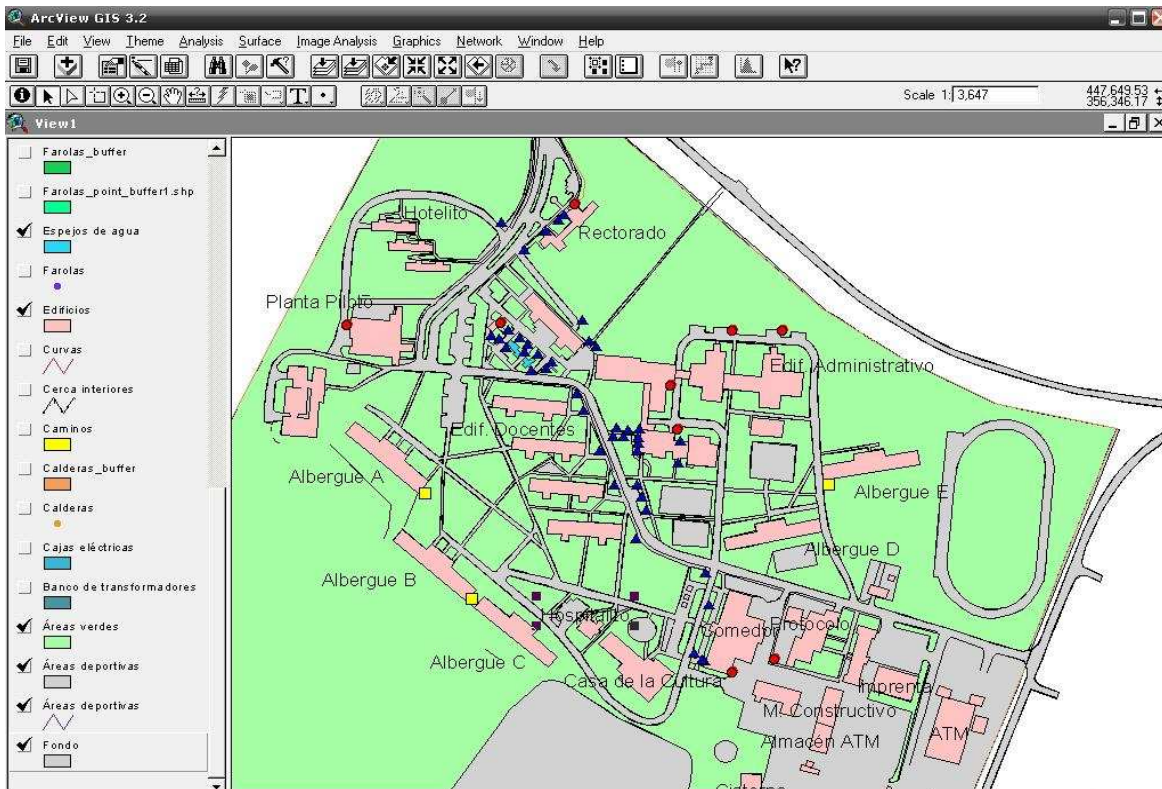
- Dos tanques frente al edificio de Facultades.
- Un tanque frente al edificio de Rectoría
- Un tanque ubicado en la Planta Piloto
- Un tanque detrás de la Cafetería 1
- Un tanque detrás de la Cafetería 2
- Cinco tanques en el comedor.
- Un tanque plástico en el parque de la Juventud (frente al punto de venta por divisa)

Distribución de los 40 cestos metálicos:

- 10 cestos en el parque de la Juventud.
- Dos en la Cafetería 2.

- Dos cestos en el Parque de la Trova.
- Cinco cestos en la vía interna a edificio de Rectoría.
- Ocho cestos en la vía interna principal.
- Ocho cestos en la Cafetería 1.
- Dos cestos en el edificio Facultad Informática.
- Tres cestos en el camino de salida de la Universidad.

En la figura 3.6 se muestran los puntos actuales de generación y evacuación de residuos sólidos en la Universidad.



Fuente: actualizado de Sánchez (2009)

Figura 3.6. Generación de residuos sólidos en la UMCC.

Se prevé la compra, por parte de la VRAS, de 60 tanques cilíndricos de 55 gal a la Empresa de Cítricos “Héroes de Girón”, de Jagüey Grande, Matanzas, a un costo de 200 \$/u (Hernández, 2010).

El autor propone la utilización de 44 de estos tanques en las ubicaciones que aparecen en la tabla 3.7, los cuales permitirán la recogida selectiva en el origen de las fracciones recuperables. Se recomienda que los tanques sean señalizados para facilitar y viabilizar la selección en el origen por parte la comunidad universitaria. En el anexo 7 se muestra una descripción de las características de los residuos que deben ser depositados en cada tanque. Estas características pueden ser divulgadas en murales, página web de la Universidad u otros lugares de interés a los cuales tengan acceso la comunidad universitaria.

Tabla 3.7. Ubicación y función de los tanques cilíndricos de 55 gal para el almacenamiento de los residuos sólidos en la Universidad.

Cantidad de Tanques	Ubicación	Función (fracción)
1	ATM	papel/cartón
1	Imprenta	papel/cartón
2	Transporte	metal papel/cartón
4	Supiadero 1 (Residencia estudiantil C y D)	papel/cartón, vidrio, plástico, restos de comida
2	Edif Administrativo y Facultad de Agronomía	papel/cartón resto de residuos sólidos
2	Edif de Facultades	papel/cartón resto de residuos sólidos
4	Informática	papel/cartón, plástico, residuos de comida, latas de aluminio
4	Cafetería	papel/cartón, plástico, residuos de comida, latas de aluminio

3	Correo	Papel/cartón, Plástico. latas de aluminio
2	Rectoría	papel/cartón, resto de residuos sólidos
4	Hotelito	papel/cartón, plástico, latas de aluminio resto de residuos sólidos.
3	Planta Piloto	papel/cartón, resto de residuos sólidos metales
4	Supiadero 2 (Residencia estudiantil A y B)	papel/cartón, vidrio, plástico, restos de comida
4	Supiadero 2 (Residencia estudiantil B y C)	papel/cartón, vidrio, plástico, restos de comida
2	Hospital universitario.	residuos hospitalarios.
2	Extensión universitaria	papel/cartón resto de residuos sólidos
Total = 44 tanques		

Fuente: propia

3.3. Valoración técnico-económica y ambiental de alternativas de gestión.

En este epígrafe se realiza la propuesta de tres alternativas que pueden ser utilizadas en las etapas de recuperación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos en la UMCC, dentro de las que se incluyen la recuperación de las fracciones aprovechables tanto para la Empresa de Materia Primas de la provincia, como para la producción de compostaje. Se pretende seleccionar la mejor alternativa de gestión, que sea técnico-económicamente factible y a su vez compatible con el medio.

Para el análisis económico se evalúan los costos de inversión asociadas a cada alternativa de gestión propuesta.

3.3.1. Propuesta técnica de alternativas de gestión de los residuos sólidos de la UMCC.

La propuesta técnica de las tres alternativas que se realiza está sustentada en las potencialidades anteriormente mencionadas, que favorezcan y tributen a la adecuada gestión de los residuos sólidos de la UMCC (figura 3.7):

Alternativa 1:

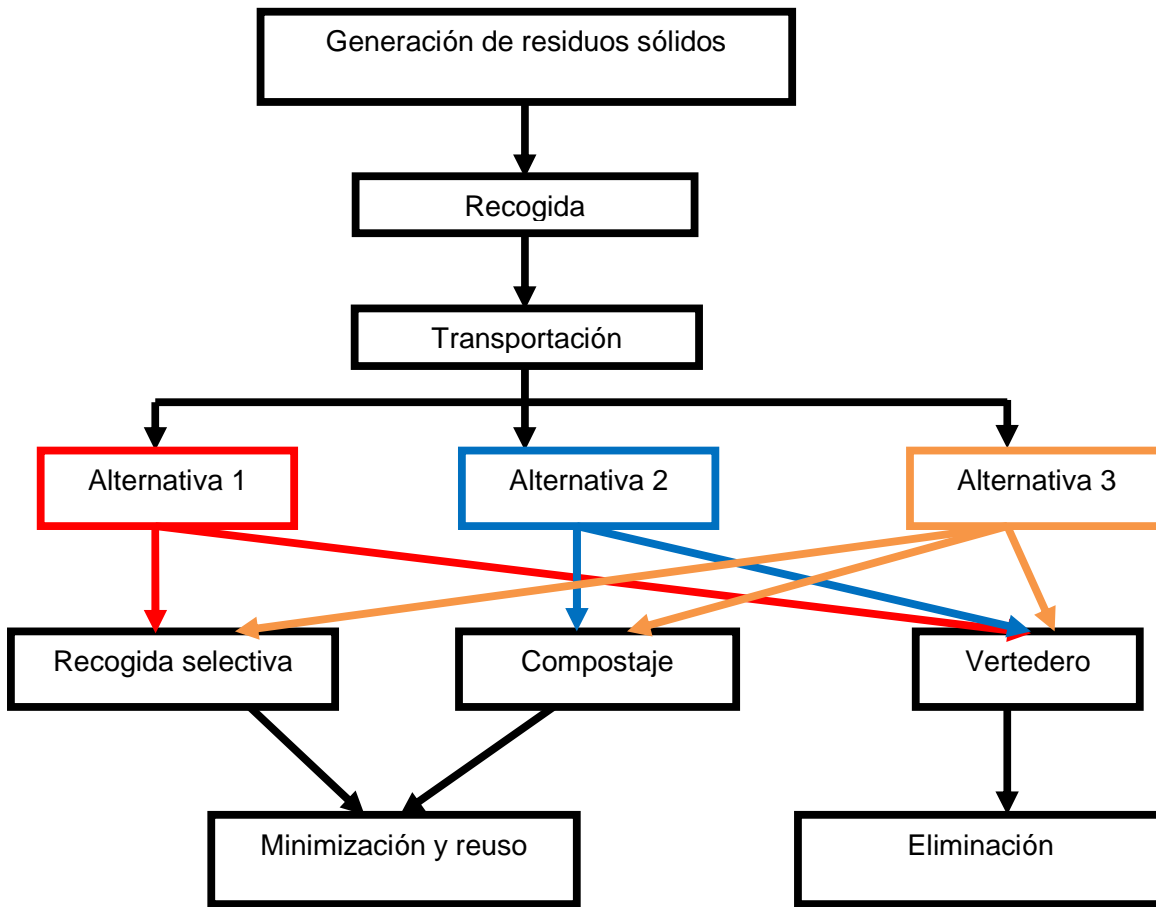
- Recuperación: Recogida selectiva en el origen.
- Eliminación: El resto de los residuos a vertedero municipal.

Alternativa 2:

- Tratamiento: Producción de compost.
- Eliminación: El resto de los residuos a vertedero municipal.

Alternativa 3:

- Recuperación: Recogida selectiva en el origen.
- Tratamiento: Producción de compost.
- Eliminación: El resto de los residuos a vertedero municipal.



Fuente: propia

Figura 3.7. Diagrama de bloque de las alternativas de gestión de los residuos sólidos de la UMCC.

Se selecciona la recogida selectiva como método de reutilización de las fracciones potencialmente recuperables, por constituir el Programa de reuso y reciclaje una de las Políticas de Consumo Sustentable en el país. El compostaje fue seleccionado pues es uno de los métodos técnicamente más sencillos, en cuanto a diseño y operación, que se emplea para el tratamiento biológico de los residuos. Se valoró la incineración como método físico de conversión térmica, pero la disponibilidad de terreno y la ubicación de la Universidad (en la Autopista a Varadero) no permite instalar incineradores en el perímetro de la institución ya que se contravendría lo establecido en la NC 134: 2002.

3.3.1.1. Recuperación: Recogida selectiva en el origen.

Se propone la recogida selectiva de las fracciones recuperables (papel y cartón, latas de aluminio, plástico, vidrio y metal) a partir de una clasificación en el origen, para su posterior venta a la Empresa de Materia Prima de Matanzas. El objetivo de esta etapa es recuperar la fracción aprovechable, disminuir la disposición directa de los residuos sólidos en el vertedero municipal y reducir el volumen a eliminar.

3.3.1.1. a. Macro-localización y requerimientos técnicos de la recuperación.

El proceso planteado se regirá por las siguientes etapas de macro-localización y requerimientos técnicos:

- Las fracciones recolectadas en los tanques serán transferidas, por medio del transporte convencional que se utiliza para la recogida de residuos sólidos en la institución, a una estación de transferencia o lugar de disposición temporal seleccionada en áreas de la Universidad.
- En esta área serán descargados y almacenados por separados hasta su recogida por parte de la Empresa de Materias Primas.
- El área seleccionada debe ser techada, estar equipada con una pesa para el pesaje de los materiales y debe contar con un operario.
- La separación y ubicación de las fracciones en la estación de transferencia será realizada por el operario en su jornada laboral. El operario debe poseer los medios de protección requeridos para la manipulación de los residuos. Se podrá planificar que el operario trabaje 8 h diarias.
- Se debe definir la capacidad de punta o capacidad de emergencia de la estación de transferencia que responde al volumen de residuos que se puede almacenar temporalmente en dicha estación de transferencia (papel y cartón, latas de aluminio, plástico, vidrio y metal) (epígrafe 3.3.1.1.b.).

- Se debe garantizar la recogida diaria de al menos dos fracciones:
 - Papel /cartón y plástico: lunes y jueves
 - Vidrio y latas de aluminio: martes y viernes
 - Metal: miércoles.
- Se debe garantizar una frecuencia de recogida de las fracciones recuperadas en la estación de transferencia, por parte de la Empresa de Materia Prima, de al menos dos veces semanales para evitar la acumulación de estos residuos.

3.3.1.1. b. Capacidad de la estación de transferencia.

La estación de transferencia que se propone debe tener una capacidad máxima de almacenaje superior a la máxima generación diaria de los residuos que almacenará (1,97 t) (ver epígrafe 3.3.2.3.a.). Si se considera, además, que la recogida de estos residuos en la estación de transferencia no va a ser diaria, y se prevee alguna irregularidad en la recogida, se diseña la planta para que admita los residuos que puedan ser recolectados en 5 d. De esta forma la estación tendrá una capacidad igual o mayor que 10 t. Este sobrediseño admite, también, las posibles fluctuaciones que pueden ocurrir en la generación de los residuos dado por el aumento de la población universitaria y cambios en la estructura institucional.

3.3.1.1. c. Costos de inversión para la etapa de recuperación:

Los costos de inversión de esta etapa aparecen reflejados en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Costo de los recursos y equipos necesarios para la recogida selectiva.

	Equipos	Cantidad	Capacidad	Costo Unitario (\$/u)	Costos (\$)
1	Tanques cilíndricos para la recogida	44	55 gal	200	8 800
1	Tanques cilíndricos para la planta de transferencia	20 (cuatro para cada fracción)	55 gal	200	4 000
2	Balanza electrónica (1)	1	30 t	12 000	12 000
3	Operario	1	1 mes	395 (salario básico)	4 740
Total					46 292

Fuente: (1) Tecnología DEISA 2003. Empresa Militar Industrial

3.3.1.2. Tratamiento: Producción de compost.

La segregación de la materia orgánica fundamentalmente los restos de comida y las hojas y ramas se utilizarán como materia prima para la producción de compost. Con la producción de compost se produce abono orgánico, el cual puede ser empleado en la agricultura y la jardinería pues es un excelente nutriente para el suelo que mejora la estructura, ayuda a reducir la erosión y favorece la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

El compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos).

3.3.1.2. a. Macro-localización y requerimientos técnicos del tratamiento.

El proceso planteado se regirá por las siguientes etapas de macro-localización y requerimientos técnicos:

- El proceso se inicia con la recogida de los restos de comida y hojas y ramas fundamentalmente en áreas de comedores, cafeterías u otras donde se generen estas fracciones, preferentemente con una frecuencia diaria.
- Se debe reducir y homogenizar el tamaño de los residuos en un molino triturador de martillo que puede estar ubicado a la entrada del área de compostaje.
- El material molido se mezcla con otros residuos para lograr una proporción adecuada en su composición. Luego es trasladado por el operario hasta el lugar de fermentación. La mezcla a compostar se dispone en pilas de altura no mayores a 1 m, en el área destinada para el compostaje.
- Puede ser utilizado estiércol vacuno para estabilizar la baja relación C/N que posee los residuos sólidos estudiados. Para lograr una adecuada relación puede ser empleado el residuo que se genera en la vaquería perteneciente a la Universidad y que se encuentra en área aledaña a la institución.
- El área destinada a ese fin puede estar ubicada en el perímetro del autoconsumo de la Universidad. En esta área se produce la descomposición de la fracción orgánica de los residuos.

- Las pilas deben ser rotadas diariamente por un operario, el cual debe vigilar los parámetros de control (temperatura y humedad) durante el proceso de biodegradación.
- Será necesario controlar los parámetros de operación durante el proceso para garantizar una adecuada y eficiente degradación.
- Durante el proceso de fermentación se logra una reducción de la masa de aproximadamente un 70%, y su volumen disminuye un 60%. Una vez superada esta etapa se lleva a cabo la maduración del producto, que consume otros 45 días aproximadamente.
- El producto de la descomposición al finalizar el proceso es un material semicurado y técnicamente bioestabilizado el cual será almacenado en el área de compostaje para su comercialización como abono orgánico y mejora de suelos en agricultura.
- Se selecciona la Tecnología DEISA (2003) (citado por Benítez, 2009). Se podrá planificar que la planta trabaje las 24 h con tres turnos de 8 h.

Los factores más importantes que condicionan el proceso de compostaje y que son necesarios controlar son:

- **Temperatura:** Las temperaturas óptimas de los residuos se deben encontrar en el intervalo de 35 a 55 °C. Es conveniente mantener la temperatura entre 50 y 55 °C durante los primeros días de fermentación, y entre 55 y 60 °C para el resto del proceso. Si la temperatura rebasa los 65 °C la actividad biológica puede verse drásticamente reducida, sin embargo es recomendable elevar la temperatura hasta 70 °C durante un máximo de 24 h, para eliminar gérmenes patógenos, semillas de maleza y otros.
- **Humedad:** Es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40 a 60 %.
- **pH:** el óptimo sería entre 7 y 8,5 para evitar pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco.
- **Oxígeno:** El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial.
- **Relación C/N equilibrada:** es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25 a 35 es la adecuada, aunque debe

alcanzarse una relación de 30-50 en la etapa de fermentación pasando de 25 a 35 en la etapa de estabilización.

- **Tamaño de partícula:** Rango de 2,5 a 7,5 cm, para lograr una eficiencia adecuada en la aireación.
- **Población microbiana:** El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetes.

3.3.1.2. b. Costos de inversión para la etapa de tratamiento:

Los costos de inversión de esta etapa aparecen reflejados en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Costo de los recursos y equipos necesarios para la planta de compostaje.

No	Equipos	Cant	Capacidad	Costo Unitario (\$)	Costos total (\$)
1	Tractor con pala volteadora	1	1 m ³	9 000	11 700
2	Grúa viajera	1	2 m ³ /viaje	68 006	88 407,8
3	Molino de orgánicos (2.2kW)	1	4 t/h	20 000	20 000
4	Tanques cilíndricos para almacenamiento de residuos y compost	10	55 gal	200	2 000
5	Tanques cilíndricos para almacenamiento de compost	5	55 gal	200	1 000
6	Operario	1	1 mes	395 (salario básico)	4 740
Total					174 139,8

Fuente: Tecnología DEISA 2003. Empresa Militar Industrial

3.3.1.3. Eliminación: vertedero municipal.

La NC 135:2002 establece como vertedero, “terreno para la disposición final de los residuos sólidos, con características específicas, según las regulaciones higiénico sanitarias y ambientales”.

Las fracciones seleccionadas para esta etapa en cada alternativa se dispondrán en el vertedero municipal junto a los restantes residuos sólidos del municipio de Matanzas. El objetivo de esta etapa es, en primera instancia, eliminar el vertedero no controlado donde se disponen

actualmente los residuos sólidos de la Universidad, además de lograr una adecuada gestión de los residuos sólidos.

La finalidad de eliminar el vertedero no controlado ubicado en áreas de la Universidad es minimizar los impactos asociados a los problemas ambientales que genera. Estos problemas ambientales están relacionados con:

- 1) el escape incontrolado de gases, que puedan migrar fuera del lugar y causar olores y otras condiciones potencialmente peligrosas.
- 2) el impacto de la descarga de los gases sobre el efecto invernadero en la atmósfera.
- 3) la salida incontrolada del lixiviado, que puede migrar hacia aguas subterráneas o superficiales.
- 4) la reproducción de vectores.
- 5) los impactos sobre la salud y el ambiente relacionados con el escape de gases en cantidades traza que surgen a partir de materiales peligrosos.

3.3.1.3. a. Macro-localización y requerimientos técnicos de la eliminación.

El proceso planteado se regirá por las siguientes etapas de macro-localización y requerimientos técnicos:

- Los residuos no recuperables ni biodegradables serán recolectados en tanques en los puntos de recolección propuestos y transferidos, por medio del transporte convencional que se utiliza para la recogida de residuos sólidos, al vertedero municipal. Los mismos serán depositados conjuntamente con los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Matanzas.
- Se prevé que la recogida se establezca por los mismos mecanismos, frecuencia y operarios establecidos por la Empresa de Servicios Comunes para la recogida de los residuos sólidos urbanos de la ciudad.
- Se sugiere que la recogida de estos residuos se realice con una frecuencia diaria para que no exista acumulación ni proliferación de vectores en la Universidad. De esa forma se mejora la estética e imagen de la institución y se contribuye a mejorar la educación ambiental de la población universitaria.

3.3.1.3. b. Costos de inversión para la etapa de eliminación.

Para esta etapa no se incluyen costos de inversión pues se necesita solo de la transportación de los residuos sólidos hasta el vertedero municipal, la cual será responsabilidad de la Empresa de Servicios Comunes de Matanzas.

3.3.2. Análisis económico de alternativas.

Luego de definir las tres alternativas es imprescindible la búsqueda de criterios que permitan la selección de la más adecuada. Debe seleccionarse, por tanto, aquella opción que favorezca la disminución de los costos, y que sea, a su vez, económicamente factible. Para ello se calculan los indicadores económicos: Valor Actual Neto (VAN) y Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI), de cada alternativa como criterio de factibilidad económica.

La selección de una alternativa que mejore el sistema de gestión de los residuos sólidos de la Universidad constituye un primer intento de proyecto que se encuentra en la etapa de identificación de la idea. Toda propuesta de proyecto y los estudios de factibilidad económica deben ser justificados por la estimación del capital. Sin embargo en la medida que se va desarrollando el proyecto, desde que se proyecta hasta que se pone en marcha, se realizan varias estimaciones las cuales son cada vez más exactas. Cada nueva estimación se basa en nuevos costos que pueden derivarse de datos históricos, acumulados de proyectos anteriores o de la literatura especializada (Branan, 2000).

Al hacer la primera estimación o análisis de pre-factibilidad, por lo general, no se cuenta con muchos datos, sin embargo esta debe ser tan sólida como sea posible y debe mejorarse en la medida que avance el proyecto. La exactitud de una estimación dependerá de con cuánta precisión se defina el proyecto y de cuán bien se hayan analizado y correlacionado los costos de proyectos anteriores. Se considera que el grado de precisión en esta primera estimación oscila entre 30 y 50 % (Branan, 2000; Fernández, 2002).

El análisis de pre-factibilidad económica que se realiza constituye un primer intento de proyecto futuro para la Universidad, a mediano plazo. En esta etapa por lo general no se cuenta con los datos necesarios para calcular los gastos componentes de los costos por lo que se utilizan criterios prácticos reportados en la bibliografía especializada para estimarlos.

Para obtener el flujo de caja es necesario determinar el costo de inversión y los costos de operación totales en cada alternativa.

3.3.2.1. Costo de inversión:

El costo de inversión corresponde al costo de adquisición del equipamiento y los recursos necesario para desarrollar cada alternativa. Los costos de inversión de cada alternativa aparecen resumidos por alternativas en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Costo de inversión.

Alternativas/etapas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Recogida selectiva (\$)	46 292	-	46 292
Compostaje (\$)	-	174 139,8	174 139,8
Vertedero (\$)	-	-	-
Total	46 292	174 139,8	220 431,8

Fuente propia.

Estos costos se adecuan o actualizan (Branan, 2000; Fernández, 2002) teniendo en cuenta los índices de costos de los años 2003 (401,7) y 2008 (560,9) respectivamente (ec 3.1) reportados en la guía de costos de la Industria Química (Chemical Cost Guide, 2009). Los costos actualizados aparecen reflejados en la tabla 3.11.

$$Costo_1 = Costo_2 \left(\frac{Índice_1}{Índice_2} \right) \quad (3.1)$$

donde: 1- Calculado (actual)

2- Referido.

Tabla 3.11. Costos de inversión actualizados.

Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos de inversión actualizados (\$)	64 638,24	243 154,13	307 792,37

Fuente propia

Para estimar el costo de inversión total de cada alternativa se utilizan los factores del método propuesto por Peters (1991) y Fernández (2002) y que aparecen en la tabla 3.12. Los costos de Inversión total de cada alternativa se muestran reflejados en la tabla 3.13.

Tabla 3.12. Factores del método de Peters (1991) para la estimación de la inversión de cada alternativa.

Costos Directos		Planta de Sólido (Peter, 1991)	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	Equipamiento	100 %	100 %	100 %	100%
2	Instalación del Equipamiento	45 %	40%	40%	45%
3	Instrumentación y Control (Instalados)	9 %	-	9 %	9 %
4	Tuberías (Instaladas)	16 %	-	10 %	10 %
5	Electricidad (Instalada)	10 %	5%	5 %	10 %
6	Edificaciones (Incluye Servicios)	25 %	20%	20%	25 %
7	Preparación del Terreno	13 %	10%	13%	13 %
8	Facilidades de Servicios Auxiliares (Instaladas)	40 %	40%	40%	40%
9	Terrenos	6 %	3 %	6 %	6%
10 (1-9)	Subtotal de costos directos	264 %	218 %	243 %	258
Costos Indirectos					
11	Ingeniería y Supervisión	33 %	30	33 %	33%
12	Gastos de Construcción	39 %	30	39 %	39%
13(10+11+12)	Total Costos Directos e Indirectos	336 %	278 %	315 %	330%
14	Ganancias del Contratista	17 %	17 %	17 %	17%
15	Contingencias	34 %	30 %	30 %	30%
16 (13+14+15)	Capital Fijo	387 %	325 %	362%	377 %
17	Capital Trabajo	68 %	68 %	68 %	68 %
18 (16+17)	Costo de Inversión Total (%)	455 %	393 %	430%	445 %

Fuente: Peters (1991)

Tabla 3.13. Costo de Inversión total de las alternativas.

Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos de inversión total (\$)	254 028,30	1 045 562,76	1 369 676,06

Fuente propia

3.3.2.2. Los Ingresos.

Los ingresos corresponden al pronóstico de la generación y las ventas de los productos de las alternativas (fracciones recuperables y el compost), así como los precios que tendrán estos productos en el mercado.

Para determinar los ingresos por concepto de ventas y los precios de los productos se utilizaron datos de un estudio de mercado preliminar realizado, los cuales se reflejan en la tabla 3.14

Tabla 3.14. Precios de productos y empresas compradoras.

No	Productos	Precios \$/t	Empresas	Producción anual (t/a)	Ingreso por venta (\$)
1	Papel y cartón(1)	1000	Prossa Envase y Embalaje	40,11	20 056,00
2	Aluminio(1)	8000	Fundición Matanzas Industrias Locales	119,14	144 755,10
3	Metales(1)	10 000	Eleka (Fca. Cables CB) Antillana de Acero	51,15	409 216,00
4	Plástico(1)	500	Industrias Locales GABA	135,06	135 056,00
5	Vidrio(1)	1 215	EMBERE Fábrica de vidrio de La Lisa. Habana	108,19	1 081 920,00
Subtotal					104 339,96
6	Compost(2)	240	MINAZ, MINAGRI	140,01	33 603,55
Total					137 943,51

Fuente: (1)Listado Oficial de Precios Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP) 2009

(2)Ruiz (2009)

3.3.2.3. Costos de producción.

Se consideran Costos de Producción Total al conjunto de gastos económicos en que se incurre en un proceso industrial durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la utilización

de recursos materiales y humanos, que tienen lugar durante el proceso de elaboración de los productos terminados (Fernández, 2002; Peters, 1991; Brizuela, 1989).

3.3.2.3. a. Volumen de producción: Generación actual de los residuos sólidos.

Base de cálculo: 1 día

Capacidad del tractor abierto con carreta que se utiliza para la recogida: 6 t

Para evitar derrame de residuos y voladura por esparcimiento en los días de mucho viento el mismo transporta alrededor de 4 t

Viajes a la semana: 7

- Viajes a la semana para residuos recuperables: 4 (dos lunes, 1 miércoles y 1 viernes).
- Viajes a la semana para la recogida de los restos de comida y hojas y ramas: 3 (uno el lunes, uno el miércoles y uno el viernes).

Generación semanal máxima de residuos sólidos: 28 t

Se consideran:

- 230 d/a para la generación y recogida de residuos ya que se tiene en cuenta que estas etapas pueden verse afectadas por factores climáticos (lluvias), además de que deben descontarse los días no laborables y festivos.
- El rendimiento del compostaje es de un 30 %. El rendimiento de la etapa de compostaje puede oscilar entre 15 y 30 % (Tchobanoglaus, 2007).

Generación anual máxima de residuos sólidos: 920,37 t/a

Tabla 3.15. Generación máxima de fracciones recuperables:

Destino	Fracción recuperable	Volumen de producción diario (t/d)	Volumen de producción anual (t/a)
Recuperación	Plástico	0,17	40,11
	Vidrio	0,52	119,14
	Latas de aluminio	0,22	51,15
	Papel/cartón	0,59	135,06
	Metal	0,47	108,19
Subtotal		1,97	453,65
Tratamiento	Restos de comida	1,78	409,40
	Hojas y ramas	0,25	57,32
Subtotal		2,03	466,72
Total		4,00	920,37

Fuente propia

3.3.2.3. b. Costo de Materia Prima.

Los únicos gastos de materia prima en que se incurren en las alternativas propuestas son los relacionados con la transportación de los residuos sólidos (combustible, gomas, acumuladores, baterías) hasta la planta de transferencia, y/o el área de compostaje. El costo por concepto de transportación al vertedero municipal no se tuvo en cuenta pues esta transportación se propone sea asumida por la Empresa provincial de Servicios Comunes de Matanzas. En la tabla 3.16 y 3.17 se reflejan las características de la transportación para la recogida y los costos de materia prima para cada alternativa.

Tabla 3.16. Frecuencia y fracciones de la etapa de recogida.

Alternativa	Frecuencia diaria	Frecuencia semanal	Fracciones
Alternativa 1	1 viaje	5 viajes	(2)- papel/cartón y plástico (lunes y jueves) (2)- Vidrio y latas de aluminio (martes y viernes) (1)- Metal (miércoles)
Alternativa 2	1 viaje	5 viajes	(5)- Hojas/ramas y Restos de comida (todos los días)
Alternativa 3	2 viajes	5 viajes	(2)- papel/cartón y plástico (lunes y jueves) (2)- Vidrio y latas de aluminio (martes y viernes) (1)- Metal (miércoles)
		5 viajes	(5)- Hojas/ramas y Restos de comida (todos los días)

Fuente: propia

Tabla 3.17. Costo total de materia prima de las alternativas.

Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos de materia prima (\$/a)	2 166,08	672,81	2 838,89

Fuente propia

3.3.2.3. c. Costos de producción/operación.

Cuando no se cuenta con los datos necesarios para calcular los gastos componentes del costo de producción total, estos pueden ser estimados a partir de criterios prácticos reportados en la bibliografía especializada. Los criterios seleccionados deben considerar la magnitud y exactitud de la estimación que se pretende. Para la estimación de los gastos correspondientes al costo de producción total se utiliza el criterio modificado reportado por Peters (1991) y Fernández (2002) el cual aparece reflejado en el anexo 8. Los costos de producción de cada alternativa se muestran en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Costos de producción total de las alternativas.

Elementos de costo	Costo (\$/a)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos Variables			
1. Materias Primas (CMP)	2 166,08	672,81	2 838,89
2. Salarios de Producción (CSP)	938,75	304,79	2 174,47
3. Servicios Auxiliares (CSA)	625,83	203,19	1 087,23
4. Mantenimiento (CM)	62,58	69,99	374,49
5. Suministros de Operación (CSO)	215,56	20,319	217,45
6. Laboratorios (CL)	93,87	60,96	434,89
Costos Fijos y Gastos Generales			
1. Administración (CA)	375,5	121,92	652,34
2. Investigación y Desarrollo (CI+D)	312,92	101,59	543,62
3. Distribución y ventas	1 251,67	406,39	2 174,47
4. Depreciación (D) (CDV)	215,56	69,99	374,49
Costos totales de producción	4 102,67	1 332,07	7 127,42

Fuente propia

El flujo de caja se realizó para definir todos los ingresos y desembolsos de capital en cada una de las alternativas, para lo que se propone en un horizonte no menor de diez años para cada una de ellas, con una tasa de interés anual del 12 %.

Los resultados obtenidos del movimiento de flujo de caja de cada alternativa se reportan en los anexos 9, 10 y 11.

Como puede observarse, los resultados obtenidos del movimiento de flujo de caja arrojan un VAN positivo para todas las alternativas. Sin embargo, si se tiene en cuenta que son efectuables aquellas inversiones que tengan un VAN positivo, siendo más interesante cuanto mayor sea este, la alternativa más factible económicamente es la alternativa 1.

La disminución del VAN y el aumento del PRI de la alternativa 3 con respecto a la alternativa 1 se debe al incremento de las inversiones en la alternativa 3 debido a la compra de equipos para la etapa de compostaje, lo que provoca que se encarezca el proceso con respecto a la alternativa 1.

No obstante si se analiza los indicadores económicos de la alternativa 3 y la alternativa 1, se puede observar que no existe mucha diferencia entre ellos y ambas alternativas garantizan recuperar la inversión en menos de un año. Si se analizan las ventajas ambientales y sociales que reporta el aprovechamiento de todas las fracciones recuperables de los residuos sólidos se puede concluir que a pesar de que la alternativa 3 presenta menor VAN que la alternativa 1, el VAN que se obtiene garantiza utilidades a la institución. Los beneficios de esta alternativa se describen en el epígrafe 3.3.3. Estas razones permiten seleccionar la alternativa 3 como la más factible para la mejora del sistema de gestión de los residuos sólidos de la Universidad, la cual reporta un VAN de 8 410 299,11 \$ y un PRI de 0,09 años.

Se propone, por tanto, implementar de inmediato la alternativa 3 como método de mejora del sistema de gestión de los residuos sólidos de la Universidad.

3.3.3. Valoración de la repercusión económica, ambiental y social de la propuesta.

Una de las opciones de gestión ambiental es la Producción + Limpia (P+L). Esta opción incluye la prevención de la contaminación en el origen y la minimización de las corrientes residuales. Ambas pretenden evitar la generación de la contaminación como estrategia preferible al tratamiento al final del proceso. La recuperación de residuos sólidos en la etapa de generación constituye una opción de P+L que repercute positivamente en el ámbito económico, ambiental y social.

La repercusión en lo económico, ambiental y social de la alternativa seleccionada se traduce en impactos positivos relacionados con la mejora del sistema de gestión actual de los residuos y la recuperación de los materiales aprovechables que puedan ser reutilizados en otros procesos con sus consiguientes beneficios:

1. Beneficios Ambientales.

- Disminución de la explotación de los recursos naturales por concepto de extracción de materia prima para los procesos de producción.
- Disminución de la cantidad de residuos que genera un impacto ambiental negativo en los lugares de disposición final y en la institución.
- Se elimina el microvertedero incontrolado ubicado en áreas de la Universidad.
- Evita la contaminación del aire por las partículas suspendidas.
- Aumenta el tiempo de explotación del vertedero municipal.
- Disminuye las emisiones de gases de invernadero.
- Ayuda a mejorar las condiciones higiénicas sanitarias en la Universidad.
- El aprovechamiento de la fracción orgánica para la producción de compost disminuye la generación de lixiviados en los vertederos y por tanto se reduce la contaminación de las aguas subterráneas y del suelo, así como la proliferación de vectores. .

2. Beneficios Sociales.

Alternativa de generación de empleo.

Crea una cultura ambiental y social de la población universitaria.

Genera nuevos recursos para otras instituciones de beneficio social.

Mejora la estética y ornato público de la Universidad

3. Beneficios Económicos.

- Los materiales reciclables y el compost se pueden comercializar y de esta forma las empresas compradoras obtienen materia prima de excelente calidad y biofertilizante para la agricultura a un menor costo y un alto ahorro económico.
- Los ingresos a la Universidad por concepto de comercialización de los productos (fracciones recuperables y compost) de la alternativa seleccionada (1824606,65 \$/a) se pueden disponer para la economía interna de la institución.

Conclusiones

- La propuesta de recoger selectivamente los residuos sólidos urbanos para su recuperación como materia prima, unida al aprovechamiento de la fracción orgánica biodegradable para la producción de compost y la eliminación del resto de los residuos en el vertedero municipal, constituye la opción más factible para mejorar la gestión de los residuos sólidos de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y minimizar los problemas de contaminación asociada a su disposición final actual, con lo cual queda validada la hipótesis.
- Las etapas que se llevan a cabo en la gestión actual de los residuos sólidos en la Universidad de Matanzas no se desarrollan adecuadamente, resultado avalado por criterios de la comunidad universitaria y la valoración del cumplimiento de la normativa para este proceso, haciendo énfasis en:
 - Los métodos de almacenamiento, recolección, transportación y eliminación de los residuos.
 - Los problemas identificados, los cuales están asociados a la falta de cultura ambiental en la comunidad universitaria, insuficientes recipientes para la disposición e insuficiente divulgación de la problemática en los medios de comunicación.
- La cuantificación y clasificación de los residuos sólidos de la Universidad arrojaron como resultados que estos materiales presentan características estándares en cuanto a su composición y el porcentaje de fracciones. Aunque por las particulares y objeto social de la Universidad no es precisamente la fracción de papel/cartón la que más se genera.
- La propuesta de la recogida selectiva y recuperación de fracciones aprovechables, la producción de compost de la fracción orgánica biodegradable conjuntamente con la disposición en el vertedero municipal del resto de los residuos sólidos, constituye una opción técnica y ambientalmente favorable, la cual reporta una factibilidad económica representada por un VAN positivo de 8 410 299,11 \$ y un PRI de 0,09 años.
- La repercusión ambiental de la propuesta se enfoca, fundamentalmente, a la minimización de los volúmenes a eliminar de los residuos sólidos estudiados, la sustitución de su actual método de disposición final y el logro de una mejor estética y ornato público de la institución con la consecuente mejora del sistema de gestión

Recomendaciones

- Informar a la Dirección de la Universidad de Matanzas los resultados de este trabajo de forma inmediata, para que sea valorada la implementación de la alternativa propuesta, en aras de comprometer a los tomadores de decisiones en proyecciones futuras inmediatas en pos de obtener el Reconocimiento Ambiental Nacional (RAN).
- Si se aprueba la implementación de la alternativa seleccionada se debe realizar el análisis del proyecto mediante un estudio más preciso de factibilidad económica, teniendo en cuenta el empleo de la información necesaria y datos confiables que arrojen resultados más reales.

Bibliografía.

- Álvarez, Y.; *et al.* 2009. Caracterización de los residuos sólidos generados en las plantas de Tratamiento de aguas residuales de Varadero. Tesis (en opción al título de Ingeniero Químico). Universidad de Matanzas.
- Benítez, L. 2009. Análisis de alternativas para la Gestión Integral de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santa Clara. Tesis (en opción al título de ingeniero Químico). Universidad Central de las Villas. 79 h
- Brizuela, E. 1989. Aspectos fundamentales del Diseño de Plantas Industriales. ISPJAE: Ciudad de la Habana. p 101-111.
- Castellanos, C.M. 1996. "Economía y Medio Ambiente". Enfoque y experiencias sociales. Academia.
- CITMA (CU). 2007. Estrategia Ambiental Nacional 2007/2010. La Habana: Academia. 93 p. ISBN 978-959-270-107-6
- CITMA (CU). 2007-2010. Estrategia Ambiental Provincial. Matanzas.
- Damghani, A.M., *et al.* 2007. Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges. Waste Management. In Press, Corrected Proof.
- Domènech, X. 1998. Química ambiental. El impacto ambiental de los residuos. 4ta ed. Madrid: Mariguano S.A. 254 p.
- Empresa de Recuperación de Materias Primas. 2009. Listado Oficial de Precios de recuperación e industria. Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP). 18 h
- Espinosa Llorens, M.C; *et al.* 2008. Characterization of municipal solid waste from the main landfills of Havana city. Waste Management. 28 (18): 2013–2021. ISSN 0956-053X.
- Fernández, E. 2002. Ingeniería Económica para Ingenieros Químicos. (Monografía). ISBN: 010-366-10-366.
- Garrigues. 2003. Manual para gestión de los residuos. Medio Ambiente.

- Gómez, E. 1999. Curso de Verano: Introducción a la Gestión, Tratamiento y Valorización de los Residuos Sólidos. Universidad de León. julio.
- González N., T.; García D., I. 1998. Cuba. Su Medio Ambiente después de Medio Milenio, Instituto Cubano del Libro. Ciudad de La Habana: Editorial Científico-Técnica.
- Hernández R., A.; Macías G., J. M. 1984. Saneamiento Ambiental, T 2. Ciudad de La Habana: MES. p 65-153.
- Hernández, V. 2010. Comunicación personal sobre la gestión de residuos sólidos urbanos de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Especialista en herbología. Jefe de Departamento de áreas verdes. Universidad de Matanzas.
- Jaramillo, J. 1991. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Washintong.
- Lund, H.F. 1996. Manual McGraw –Hill de reciclaje. MADRID: McGraw-Hill. España
- Martínez, F; Valdés, M; Bahamonde, A; *et al.* 2004. Manuel de Técnicas de análisis químico para el humus de lombriz. Instituto de suelo. MINAZ. Departamento de Biología. La Habana: Agrinfor. 38 p.
- Merizalde Hoyos Juan C., M.G.A., Mújica Muñoz Julián Reynaldo. 2003. Manual para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) en Instituciones Educativas Escuela de Ingeniería de Antioquia Ingeniería Ambiental.
- NC (CU) 111:1999. Requisitos Higiénicos Sanitarios: concentraciones máximas admisibles, alturas mínima de la expulsión y zonas de protección sanitarias. Oficina Nacional de Normalización. 87 h
- NC 133: 2002. Residuos sólidos urbanos. Almacenamiento, recolección y transportación. Requisitos higiénicos Sanitarios y ambientales. Oficina Nacional de Normalización. marzo. 17 h
- NC 134: 2002. Residuos sólidos urbanos. Tratamiento. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales. Oficina Nacional de Normalización. marzo. 10 h
- NC 135: 2002. Residuos sólidos urbanos. Disposición Final. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales. Oficina Nacional de Normalización. marzo. 9 h
- NC 530: 2007. Desechos sólidos. Manejo de desechos sólidos de instituciones de

- salud. Requisitos higiénico-sanitarios y ambientales. Cuban National Bureau Standards. noviembre. 18 h.
- Núñez, J. A. 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. Tesis (en opción al Título Académico de Master en Ingeniería y Saneamiento Ambiental).
 - Otero, M. 1999. Gestión de los biosólidos. Aplicación agrícola a pequeña escala. Programa de Doctorado Ecología y Medio Ambiente. España. p 13-18, septiembre.
 - Pérez Díaz, N. et al. 2009. [on line]. Consulta: 22 marzo. Disponible en:<http://www.monografias.com/trabajos46/compostaje/compostaje2.shtml> - Compostaje vs Residuos Orgánicos - Monografias_com
 - Peters, M; *et al.* 1991. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Fourth Edition. International Edition. Mc Graw Hill Book. Chemical Engineers Serie.
 - Pravia, A. 2004. Manual para la elaboración de Compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. OPS/HEP/HES/URO.
 - Razos, C.A. 1990. " Residuos Sólidos Urbanos". Instituto de Ciencias y educación. Taller de Educación Ambiental. Santiago de Compostela España.
 - Romero, A. 2001. [on line]. Incineración de Residuos Sólidos Urbanos. Consulta: 7 enero 2010. [Disponible en: <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C2-327.pdf>].
 - Ruiz, A. 2009. Planta de reciclaje de Residuos Sólidos Orgánicos, a través de la producción de compost. 19 p.
 - Sánchez, O. 2009. Gestión Ambiental de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" a partir de un Sistema de Información Geográfica. 75 h. Tesis (en opción al Título Académico de Master en Contaminación Ambiental). Universidad de Matanzas.
 - Sarmiento, M., D. Durao, *et al.* 2005. "Study of enviromental sustainability: The case of Portuguese polluting industries". Energy 30(8): 1247-1257.
 - Sarmiento, R. 2008. [on line]. Incineración de Residuos Sólidos Urbanos y generación

de electricidad. Energía a Debate. Consulta: 7 enero 2010. [Disponible en: http://www.energiaadebate.com/autores/rocio_sarmiento_torres.htm].

- Seoanez, M. 1999. Residuos: Problemática, descripción, manejo aprovechamiento y destrucción. Barcelona: Mundi Prensa.
- Seoanez, M. 2000. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Madrid: Mundi Prensa.
- Tchobanoglous, G. 2007. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Madrid: Mc-Graw-Hill. 1107 p.
- Tecnología DEISA. 2003. Empresa militar. citado por: Benítez Viera, L. 2009. Análisis de alternativas para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de Santa Clara. Tesis (en opción al grado de Ingeniero Químico). Universidad Central de las Villas “Marta Abreu”
- Treto, M. 1998. Manejo De Los Residuales Sólidos Urbanos de la Ciudad De Santa Clara. Tesis (en opción al título de ingeniero Químico). Universidad Central de las Villas.

Anexos

ANEXO 1: Encuesta aplicada a Estudiantes y Trabajadores

Encuesta sobre los residuos sólidos de la UMCC.

Estimado(a) compañero(a), con el objetivo de conocer la situación actual de los residuos sólidos (basura) en la UMCC, se desarrolla una investigación para valorar la problemática ambiental. Consideramos de gran valor los criterios que al respecto nos pueda brindar. Para ello solicitamos su más cordial colaboración. Por favor, marque la respuesta adecuada en cada caso:

1- ¿Conoce usted que son los residuos sólidos?: Sí _____ No _____

2- ¿Qué tipo de residuos sólidos considera más perjudiciales en su entorno laboral/estudiantil?

Domiciliarios _____ Industriales _____ Patógenos y peligrosos _____ Todos _____

3- La inadecuada disposición de los residuos sólidos produce un mayor impacto sobre:

Agua _____ Suelo _____ Aire _____ Salud _____ Todos _____

4- ¿Conoce que tipo de enfermedades puede causar el inadecuado manejo de los residuos sólidos?.

Sí _____ No _____

En caso de que su respuesta sea afirmativa, marque las que considere:

Alergia _____ Diarreas _____ Enfermedades infectocontagiosas _____

Enfermedades respiratorias _____ Otras _____

4- Explique cuales, a su criterio, son las principales deficiencias en la gestión de los residuos sólidos en la UMCC:

	Deficiencias
Manipulación	
Recolección y almacenamiento	
Transporte	
Tratamiento	
Eliminación	

5- ¿Estaría dispuesto a colaborar en la separación y clasificación en el origen de los residuos sólidos de su área?:

Sí _____ No _____

6-¿La calidad y cantidad de recipiente que existe para la recogida de los residuos sólidos en su área es la adecuada?

Sí _____ No _____

7- ¿En qué condiciones se encuentran los recipientes existentes?.

Excelentes____ Muy buenos____ Buenos: _____ Regular_____ Malos_____ Muy malos _____

8- La información que debe recibir la comunidad universitaria (estudiantes y trabajadores) sobre el tema es responsabilidad de:

Las autoridades de gobierno _____ Los medios de comunicación _____

Las empresas involucradas en el tema _____ La Universidad _____

9- Tiene conocimiento acerca de programas de control ciudadano sobre residuos sólidos:

Sí _____ No _____

10 - ¿Conoce cuál es el destino final ó la evacuación que se le da a los residuos sólidos que se generan en la UMCC?

Sí _____ No _____

Diga el destino en caso de que su respuesta sea afirmativa.

Marque con una cruz las casillas que Ud considera adecuadas. Tenga en cuenta que:

Nunca: en ninguna ocasión. Casi nunca: al menos en alguna ocasión A veces: con frecuencia. Casi siempre: muy frecuentemente. Siempre: en todas las ocasiones.

	Nunca	Casi Nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
Disposición de la basura en su área					
La basura en su área se bota en:					
Tanques.					
Contenedores.					
Cajas.					
Jabas o sacos de nylon.					
Cubos.					
Cestos.					
Otros					

.....ANEXOS

La basura es clasificada y separada por tipo de materiales.					
Se le aplica algún tratamiento antes de ser eliminada (vertida).					
La basura que se genera es recogida diariamente.					
La basura que se genera en su área es recuperada (reciclada o reutilizada)					
En su área se genera:					
Papel y cartón.					
Metales.					
Vidrios.					
Plásticos.					
Restos de maderas.					
Residuos de comida.					
Residuos de jardín.					
Gomas.					
Latas de aluminio.					
Textiles					
Cuero					
Residuos Peligrosos.					
Actitud ante el problema de la basura en UMCC					
Se maneja el problema de la basura en los Medios de Comunicación de la UMCC (radio base, correo electrónico, páginas Web, periódico Universitario, murales, propagandas).					
La comunidad universitaria se preocupa y vela por la higiene de la UMCC.					
La comunidad universitaria se manifiesta en contra de la creación de los microvertederos.					
Se aborda esta temática en las asignaturas de su carrera o en las reuniones					

.....ANEXOS

de su área.					
Gestión de la basura en su área	Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala
La gestión de los residuos sólidos en su área es evaluada de:					
Manipulación					
Recolección y almacenamiento					
Transporte					
Tratamiento					
Eliminación					

Datos del encuestado:

Área a la que se está haciendo referencia: _____

Local al que pertenece dentro del área: _____

Profesión (Si es profesor): _____

Ocupación: ___ Estudiante ___ Trabajador no docente ___ Profesor ___ Dirigente

Cargo que ocupa: _____

Edad: ___ 18-30 años ___ 30-45 años ___ 45-60 años ___ > 60 años

ANEXO 2. Datos de expertos de la Universidad.

Encuestados	Puesto de trabajo	Responsabilidad que ocupa	Años de experiencia
1- DrC. Juana Zoila	CEMAM	Dirección	40
2- DrC. Olga Gómez	Vicerrectora Económica	Vicerrectora	4
3- DrC. Roberto Viscón	Vicerrector y profesor	Vicerrector	34
4- DrC. Lourdes González	CEMAM	Profesora	15
5- MsC.Damaris González	CEMAM	Profesora	7
6- MsC. Mariela Almeida	Laboratorio	Especialista	13
7- Ing. Yoandra Armas	Laboratorio	Especialista	13
8- DrC. Sonia Jardines	Profesor	Vicedecano	24
9- DrC. Rolando León	Decano de Agronomía	Decano de Agronomía	32
10- DrC. Ariel Romero	Industrial	Profesor	15
11- DrC. Joaquín García	Oficina o tecnología	Director y Profesor	28
12- Ing. Víctor Hernández	Especialista en herbología	Jefe de áreas verdes	10
13- DrC. Mabel Font	Profesora UMCC	Profesora de Lic en turismo	23

ANEXO 3. Primera Encuesta a expertos de la UMCC (1)

Estimado(a) compañero(a), con el objetivo de conocer la situación actual de los residuos sólidos urbanos de la UMCC, se desarrolla una investigación para valorar la problemática ambiental de dichos residuos. Usted ha sido seleccionado como experto por su experiencia en la temática. Consideramos de gran valor los criterios que al respecto nos pueda brindar.

Puesto de trabajo:

Responsabilidad que ocupa:

Años de experiencia:

Las posibles causas de la inadecuada disposición de residuos sólidos en la UMCC:

- Falta de cultura ambiental en la comunidad universitaria.
- Insuficiente recipientes para la disposición.
- Déficit de presupuestos.
- Inadecuada capacitación del personal.
- Inadecuada organización
- Indiferencia por parte de las autoridades sanitarias del territorio.
- No aplicación de disposiciones legales vigentes.
- Insuficiente divulgación de la problemática en los Medios de Comunicación Masiva.

Exponga otras posibles causas según su criterio:

Muchas Gracias

Segunda Encuesta a expertos de la UMCC (2)

Marque, según su criterio, las causas de la inadecuada disposición de residuos sólidos urbanos en la UMCC:

Causas	Si	No
1. Falta de cultura ambiental en la comunidad universitaria.		
2. Insuficientes recipientes para la disposición.		
3. Déficit de presupuesto.		
4. Inadecuada capacitación del personal.		
5. Inadecuada organización.		
6. Indiferencia por partes de autoridades sanitaria del territorio		
7. No aplicación de las disposiciones legales vigentes.		
8. Insuficiente divulgación de la problemática en los Medios de Comunicación		
9. No se prioriza la problemática por parte de los directivos de la UMCC		
10. Inadecuado Sistema de Gestión RS en la UMCC		
11. Ubicación de las fuentes generadora		
12. Falta de creatividad para mitigar la problemática.		
13. Deficientes utilización de los recursos humanos especializado para la búsquedas de alternativas		

Muchas Gracias

Tercera Encuesta a expertos de la UMCC (3)

Estimado experto:

Enumere en orden de prioridad del 1 al 4, las posibles causas de la Inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos en la UMCC.

Tenga en cuenta que el 1 representa la causa principal según su criterio y el 4 la causa de menor importancia.

Causas	Nº
Falta de cultura ambiental en la comunidad universitaria.	
Insuficientes recipientes para la disposición.	
Insuficiente divulgación de la problemática en los Medios de Comunicación	
Inadecuado Sistema de Gestión RS en la UMCC	

Muchas Gracias

Anexo 4. Método de Delphi

La esencia del método es hacer varias encuestas sucesivas sin interacción (intercambio de opiniones), donde se recomienda emplear nueve expertos. Funciona del siguiente modo:

1-El grupo de análisis (quienes están aplicando el método) lanza la pregunta a los expertos, recibe las respuestas y selecciona las más comunes.

2-Se envían las características más comunes a los expertos, sin ordenar y se les pide el voto (Positivo vale 1, negativo vale 0)

Se calcula el coeficiente C

$C = \frac{(1-V_n)}{V_t} \times 100$ donde:

V_t

V_n = Votación negativa

V_t = Votación total

Nota: Si no hay concordancia el error es del grupo de análisis.

1-Se les pide a los expertos ponderar en orden de importancia dando la mayor importancia a la más compatible y así consecutivamente. Recibida la respuesta se hace una tabla donde se calcula la media y el recorrido.

2-Se les envía a los expertos las características ordenadas, para ver si están de acuerdo.

Nota: A mayor media, mayor es la confiabilidad de la característica y a mayor rango de variación, hay mayor coincidencia entre criterios. (García, 2005)

Anexo 5. Método de Kendall

Consiste en unificar los criterios de un grupo de especialistas, con conocimiento del tema sometido a estudio. Se selecciona personal calificado, con experiencia en ese trabajo. Cada integrante del panel pondera según el orden de importancia que cada cual entiende a su criterio de forma ascendente o descendente las características. El número de experto debe estar entre 7 y 15. Es importante tener en cuenta que experto no quiere decir profesional, sino amplio conocedor del tema y explicarles claramente a estos los objetivos que perseguimos con el estudio o investigación y la trascendencia de su imparcialidad.

El coeficiente de Kendall se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{12 \sum \Delta^2}{m^2(K^3 - K)} \cdot 0,5$$

$$\Delta = \sum ai - T$$

$$T = \frac{\sum \sum ai}{K}$$

Ventajas

- Recoge con un sentido específico los criterios de las técnicas.
- La capacidad y experiencia de los expertos hacen confiable la ponderación.
- Permite trabajar con valores numéricos.
- Los criterios son recogidos por separado para no influir en otros expertos.
- No hay iteración, se puede determinar si hay concordancia.

Desventajas

Es un método subjetivo, depende de criterios. Puede llenarse por puro formalismo. (García, 2005)

ANEXO 6. 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.
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.

.....ANEXOS

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

Fuente: Benítez, 2009

ANEXO 7. Descripción de las características de los residuos a reciclar.

Recipiente para almacenar:	Función
Papel y cartón	Será usado para depositar todos los residuos con esta constitución: los cartones de cualquier tipo de cajas (cartones ondulados, envases tipo <i>tetra brick</i> o <i>tetra pak</i> : cartones de leche, jugo, caldo..., etc), periódicos, revistas, papeles desechables.
Plástico	Se empleará para depositar envases de plástico (botellas de detergentes, aceites, bebidas...).
Vidrio	Se deben depositar los envases de vidrio (botellas, y recipientes de vidrio blanco, verde y ámbar). No se incluye el vidrio de bombillas o focos, fluorescentes o fragmentos de vitrocerámica pues su composición imposibilita reciclarlo con el vidrio ordinario.
Latas de aluminio	Fundamentalmente destinados a la recolección de latas de refrescos y cerveza conservas.
Metal	Material ferroso (lata de hojalata) y no ferroso (aluminio, cobre, plomo).
Residuos de comida	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.
Otros residuos	En este depósito se vierten todos los desechos que tienen un bajo potencial de reciclado o que son muy difíciles de reciclar. Ejemplo: pilas, aceites, metales, computadoras, electrodomésticos, entre otros.

Elaboración propia

ANEXO 8. Elementos de costos de producción.

Costos de Producción		Alternativas		
Elementos de costo	Criterio ¹	1	2	3
Costos Variables				
Materias Primas (CMP)	10-50 % CT ²	50	50	50
Salarios de Producción (CSP)	10-20 % CT	15	15	20
Servicios Auxiliares (CSA)	10-20% CT	10	10	10
Mantenimiento (CM)	2-10% CF	10	10	10
Suministros de Operación (CSO)	10-20 % CM	10	10	20
Laboratorios (CL)	20 % CSP	10	20	20
Costos Fijos y Gastos Generales				
Administración (CA)	2-6 % CT	6	6	6
Investigación y Desarrollo (CI+D)	5 % CT	5	5	5
Depreciación (D)	10% CF	10	10	10
Distribución y ventas (CDV)	20% CT	20	20	20
Costos totales de producción	CT			

1 Fuente: Peters. (1991)

2 No se estimó por el criterio, ya que sólo se consideran los costos de transportación de la materia prima.

ANEXO 9. Resultados del movimiento del flujo de fondo de la Alternativa 1.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	254 028,30										
Cf		1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30	1 937,30
Cv		3 715,36	3 909,03	4 102,69	4 102,69	4 102,69	4 102,69	4 102,69	4 102,69	4 102,69	4 102,69
Total Pagos	254 028,30	5 652,67	5 846,33	6 039,99	6 039,99	6 039,99	6 039,99	6 039,99	6 039,99	6 039,99	6 039,99
Total Cobros	0,00	1 432 802,48	1 611 902,79	1 791 003,10	1 791 003,10	1 791 003,10	1 791 003,10	1 791 003,10	1 791 003,10	1 791 003,10	1 791 003,10
Mov.Fondos	-254 028,30	1 427 149,81	1 606 056,46	1 784 963,11	1 784 963,11	1 784 963,11	1 784 963,11	1 784 963,11	1 784 963,11	1 784 963,11	1 784 963,11
Mov.Fondos Acumulados	-254 028,30	1 173 121,51	2 779 177,98	4 564 141,09	6 349 104,20	8 134 067,31	9 919 030,42	11 703 993,54	13 488 956,65	15 273 919,76	17 058 882,87
Mov.Fondos Actualizados	-254 028,30	1 274 240,90	1 280 338,38	1 270 501,49	1 134 376,33	1 012 836,01	904 317,86	807 426,66	720 916,66	643 675,59	574 710,35
VAN (\$)	9.369.311,94										
PRI (a)	0,02										

Fuente: propia

