

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA UNIVERSIDAD DE MATANZAS.

**Dr.C. Lourdes Y. González Sáez¹, Ing. Osmany Marrero Chávez,
MSc. Damarys González Rodríguez¹, Ing. Víctor Hernández¹**

1. Centro de Estudios de Medio Ambiente de Matanzas. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Cuba. Autopista a Varadero, km 3½.

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 permitieron 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.

PALABRAS CLAVES: *residuos sólidos, gestión integral, manejo*

INTRODUCCIÓN

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.

El siguiente trabajo tiene 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".

DESARROLLO.

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 Vicerreorías 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 considerada un centro urbano.

2. Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

2.1. Estudio de Percepción de la comunidad universitaria.

Se aplicaron 400 encuestas (curso 2009-2010) a la comunidad universitaria: 80 estudiantes, 320 profesores y trabajadores no docentes, con el objetivo de identificar las deficiencias del proceso de gestión de los residuos sólidos urbanos, en función del quehacer y criterio de la población universitaria y de los especialistas.

Del estudio de percepción se obtuvieron los siguientes resultados:

- Más de la mitad de la población encuestada coincide que todos los residuos son perjudiciales y el 75 % plantea que la inadecuada disposición de los RS produce impacto sobre todos los medios, fundamentalmente sobre la salud.
- La totalidad (100 %) de los encuestados plantean que las mayores deficiencias del sistema de gestión de la UMCC están en la recolección y almacenamiento y la transportación.
- La mayoría de la población considera que en su área la calidad y cantidad de recipiente que existe para la recogida de los RS no es la adecuada.
- Plantean que la Universidad es la principal responsable de la divulgación e información a la comunidad universitaria sobre los aspectos y problemas ambientales, y que esta es responsabilidad de todos. Se sugiere por tanto crear un equipo multidisciplinario para el éxito de la comunicación.
- Es criterio de los trabajadores que esta temática no se aborda en los medios de comunicación de la UMCC.
- Más del 70 % de la población encuestada desconoce el destino final ó la evacuación que se le da a los residuos sólidos que se generan en la UMCC.
- El sistema de gestión de RS de la UMCC se evalúa de Regular, por lo que debe ser perfeccionado.
-

2.2. Cuantificación y caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos de la UMCC.

2.2.1. Cuantificación de los Residuos Sólidos Urbanos de la UMCC.

El muestreo de los residuos se realizó por el método reportado por Tchobanoglous (2007), el cual se basa en subdivisión por cuarteo sucesivo de la muestra total seleccionada en recorrido realizado por cada uno de los

puntos de vertimiento hasta el lugar de descarga final. El período de muestreo incluyó dos frecuencias semanales en un período de 12 meses (curso 2008-2009).

La figura 1 representa el porcentaje promedio anual y en las figuras 2 y 3 se muestran el porcentaje mensual de cada fracción.

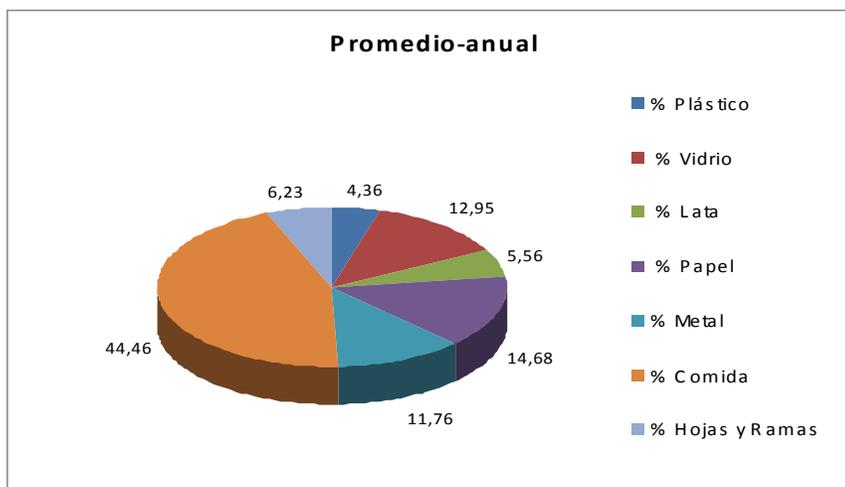


Figura 1. Porcentaje promedio anual de la fracción de residuos sólidos urbanos de la UMCC.

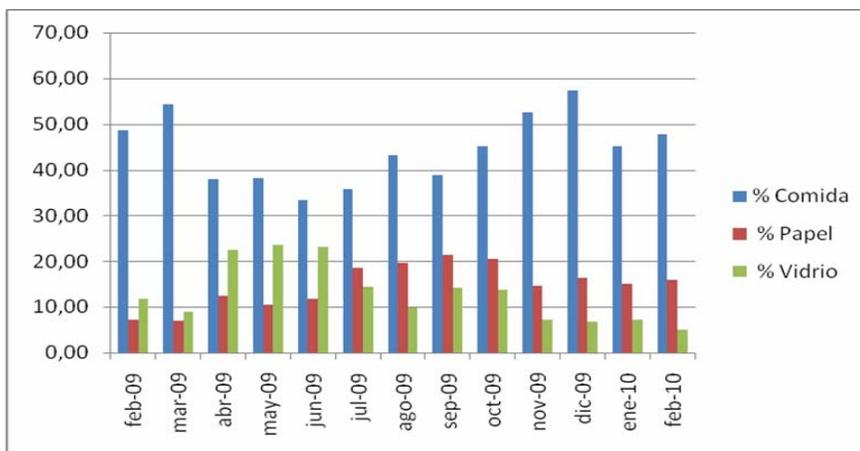


Figura 2. Comportamiento del porcentaje promedio mensual de las fracciones: restos de comida, papel y cartón y vidrio.

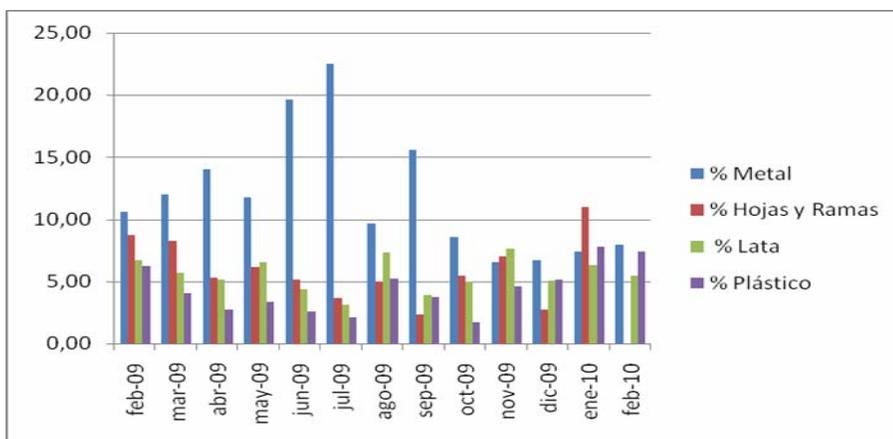


Figura 3. Comportamiento del porcentaje promedio mensual de las fracciones: metales, hojas y ramas, latas y plásticos.

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. Se obtienen picos de máximos y mínimos en diferentes períodos anuales en dependencia de la época del curso escolar y de factores externos e internos de la institución. 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.

Estas composiciones pueden ser recomendadas como indicativas o estándar de valores aceptables. En la composición y cantidad de los residuos sólidos urbanos intervienen factores modificadores como: Las características de la población, la época del año (curso escolar y estaciones del año) y el nivel social.

2.2.2. Caracterización de los residuos sólidos urbanos de la UMCC

La caracterización físico-química 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.

En la tabla 1 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 4 se muestran los valores promedios de cada análisis.

Tabla 1. Caracterización físico-química de los residuos sólidos urbanos de la UMCC (%).

Muestra	Humeda	Ceniza	Mat.	Hidrógen	Nitrógeno	Relación	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
Promedi	31,3009	13,917	73,3044	4,8870	0,462	118,199	8,02

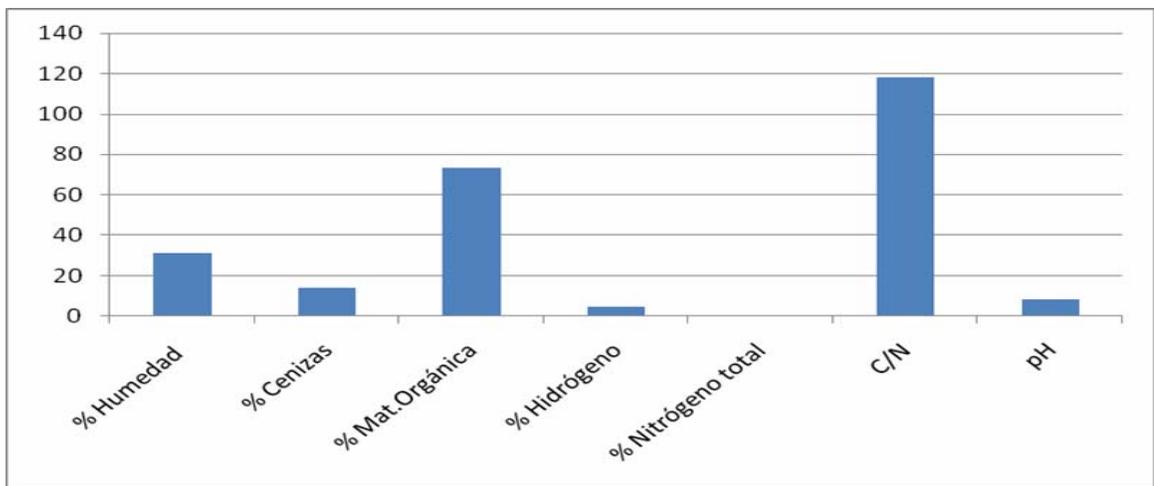


Figura 4. Valores promedios de las características físico-químicas de los residuos sólidos urbanos de la UMCC.

En la caracterización se obtienen valores de humedad aceptables con porcentajes medios que oscilan entre 20 y 60 %.

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 porcentaje de materia orgánica se encuentra en un rango de 69 a 78 %, el cual se corresponde con el porcentaje de los restos de comida, papel y cartón, plástico, hojas y ramas.

La relación C/N 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. 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. Según Pérez (2009), 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. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, 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.

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).

El pH no afecta la acción microbiana dentro del rango de 6 a 9 (Tchobanoglaus, 2007), por lo que el promedio obtenido para estos residuos (8,02) puede considerarse aceptable.

2.2.2.1. Consideraciones para la gestión.

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. 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 como son la combustión, la pirólisis o la incineración. Como lo es el contenido de materia orgánica, relación C/N y humedad para la lombricultura, el compostaje y la digestión anaerobia (Álvarez, 2009).

Los niveles de nitrógeno total son necesarios valorarlos si se desea emprender la valorización biológica de estos residuos.

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

En la UMCC el organismo 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 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.

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

Objetivo: Evaluar el funcionamiento de las etapas de la gestión de los residuos sólidos en la Universidad, así como la repercusión en la salud, el entorno y la contravención de la legislación jurídica y ambiental.

3.1.1. Generación y Almacenamiento de los residuos sólidos.

Según la norma cubana NC 133: 2002:

- No se cuenta con suficientes recipientes internos y externos para la recepción de los desechos sólidos.
- Existe diversidad de recipientes para el almacenamiento y la recogida (supiaderos, tanques).
- Los supiaderos propician el desarrollo de vectores y la generación de malos olores.
- En ningún caso el almacenamiento de los residuos se realiza de manera selectiva.

3.1.2. Recolección y transportación de residuos sólidos.

Según la NC 133:2002:

- No se dispone del personal necesario (brigada de 11 trabajadores por plantilla).
- La frecuencia de recolección (2 o 3 veces/semana) provoca acumulación de los RS, criadero de vectores y la afectación de la estética de la UMCC.
- Los residuos hospitalarios son almacenados y recogidos de forma conjunta con el resto de los RS.
- Los trabajadores carecen de algunos implementos de trabajo y medios de protección como tapabocas, batas o delantales.
- Los vehículos que se utilizan para la recogida de los RS (camión y/o un tractor abierto con carreta de barandas bajas) no presentan las condiciones técnicas necesarias.

3.1.3. Tratamiento de residuos sólidos.

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. (NC 134:2002)

3.1.4. Disposición final.

Según la NC 135:2002 la disposición final de los RS es inadecuada porque:

- Los RS son dispuesto en un microvertedero ubicado dentro del campus universitario que no se encuentra cercado ni señalizado.
- Los RS se incineran en el microvertedero violando lo establecido en la norma NC 134: 2002.

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

Atendiendo a los resultados obtenidos del estudio de percepción y el análisis del Sistema de Gestión de los residuos sólidos de la UMCC, este es clasificado de inadecuado. 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, incumplándose 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 las principales causas de la inadecuada gestión de los residuos sólidos 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.

5. Propuesta de Mejora del SGIRS de la UMCC.

5.1. Etapas de Generación, Almacenamiento y Recogida.

5.1.1. Generación y Almacenamiento.

En la Universidad se cuenta con 12 tanques cilíndricos de 55 gal en áreas externas para la evacuación de los RS. Es de destacar que en los últimos meses la dirección de la Universidad ha distribuido e instalado 40 cestos metálicos en todas las áreas lo que garantiza que mejore la imagen estética de la misma (Hernández, 2010).

Se prevé la compra, por parte de la Vicerectoría de Administración y Servicios (VRAS), de 60 tanques cilíndricos de 55 gal más para ser distribuidos en áreas de la Universidad (Hernández, 2010).

Se propone la utilización de 44 de estos tanques en las ubicaciones que aparecen en la tabla 2, 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.

Tabla 2. 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 Laboratorio de Mecánica	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

5.1.2. Recogida.

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

1. Residuos domésticos, institucionales y comerciales, 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. Residuos hospitalarios: procedentes del hospital universitario. Estos residuos son altamente peligrosos, clasificados como infecciosos.
3. Residuos industriales: los procedentes de materiales de desechos producidos en las Plantas Piloto (subproductos de procesos productivos).
4. Residuos municipales: restos de jardinería, limpieza de áreas verdes, de vías y áreas públicas.

5.2. Transportación, Recuperación, Tratamiento y Disposición final.

5.2.1. Propuesta técnica de alternativas.

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.

Alternativa 1:

CD de Monografías 2010
(c) 2010, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"

- 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.

5.2.2. 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.

5.2.2.1. 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.
- 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)

- Se debe garantizar la recogida diaria de al menos dos fracciones.
- Se debe garantizar una frecuencia de recogida de las fracciones recuperadas en la estación de transferencia, de al menos dos veces semanales para evitar la acumulación de estos residuos.

5.2.2.2. 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). Si se considera, además, que la recogida de estos residuos en la estación de transferencia no va a ser diaria, y previendo 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.

5.2.2.3. Costos de inversión para la etapa de recuperación:

Los costos de inversión de esta etapa aparecen reflejados en la tabla 3.

Tabla 3. Costo de los recursos y equipos necesarios para la recogida selectiva.

	Equipos	Cantidad	Capacidad	Costo (\$/u)	Unitario	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 (citado por Benítez, 2009).

5.2.3. 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.

5.2.3.1 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 controlar los parámetros de control (temperatura y humedad) durante el proceso de biodegradación.
- Será necesario controlar los parámetros de operación (temperatura, humedad, pH, oxígeno, relación C/N, tamaño de partícula y población microbiana) durante el proceso para garantizar una adecuada y eficiente degradación.
- El producto de la descomposición al finalizar el proceso será almacenado en el área de compostaje para su comercialización.
- 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.

5.2.3.2. Costos de inversión para la etapa de tratamiento:

Los costos de inversión de esta etapa aparecen reflejados en la tabla 4.

Tabla 4. Costo de los recursos y equipos necesarios para la planta de compostaje.

N o	Equipos	Can t	Capacidad	Costo Unitario (\$)	Costos total (\$)
1	Tractor con pala volteadora	1	1 m ³	11 700	11 700
2	Grúa viajera	1	2 m ³ /viaje	88 407,8	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 (citado por Benítez, 2009).

5.2.4. Eliminación: vertedero municipal.

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.

5.2.4.1. 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 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.

5.3. 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), Tasa Interna de Retorno (TIR), y Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI), de cada alternativa como criterio de factibilidad económica.

5.3.1. Costo de inversión:

Tabla 5. 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. Los costos actualizados aparecen reflejados en la tabla 6.

Tabla 6. 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

Los costos de Inversión total de cada alternativa se muestran reflejados en la tabla 7.

Tabla 7. 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

5.3.2. Los Ingresos.

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 8.

Tabla 8. 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)

5.3.3. Costos de producción.

5.3.3.1. 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

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 9. Generación máxima de fracciones recuperables:

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

Fuente propia

5.3.3.2. Costo de Materia Prima.

Los únicos gastos de materia prima 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 conveniado con la Empresa provincial de Servicios Comunes de Matanzas.

Tabla 10. 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 11. Costo total de materia prima de las alternativas.

Alternativas	Alternativa	Alternativa 2	Alternativa
Costos de materia prima	2 166,08	672,81	2 838,89

Fuente propia

5.3.3.3. Costos de producción/operación.

Los costos de producción de cada alternativa se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Costos de producción total de las alternativas.

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

Fuente propia

Para el flujo de caja se propone en un horizonte no menor de diez años para cada alternativa, con una tasa de interés anual del 12 %. En la tabla 13 se reflejan los resultados obtenidos del movimiento de flujo de caja de cada alternativa.

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. 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. Al valorar 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 que se obtiene garantiza utilidades a la institución. 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.

Tabla 13. Resumen del flujo de caja de cada alternativa.

Indicadores	Alternativa	Alternativa 2	Alternativa
VAN (\$)	9.369.311,94	4.833.437,24	8.410.299,11
PRI (a)	0,02	0,10	0,09

CONCLUSIONES

Se concluye que 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”. Por considerarse la Universidad de Matanzas un centro urbano por sus características, servicios, geografía, morfología y densidad de población, los resultados pueden generalizarse a otras urbanizaciones de características similares. De igual forma puede ser generalizado a Instituciones escolares similares existente en el territorio.

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 “Martha Abreu”. 79 h
- 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.
- 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.
- 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.
- Pérez Díaz, N. et al. 2009. [on line]. Consulta: 22 marzo. Disponible en:http://www.monografias.com/trabajos46/compostaje/compostaje_2.shtml - Compostaje vs Residuos Orgánicos - Monografias_com
- 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.
- 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”