



Alejandro Barradas Rebolledo

**Doctor Ingeniero por la Universidad
Politécnica de Madrid**

Profesor Investigador en Ingeniería Ambiental
del Instituto Tecnológico de Minatitlán

**Minatitlán, Veracruz, México
Noviembre 2009**

INTRODUCCIÓN

La metodología propuesta en este documento resulta de una ardua investigación bibliográfica y de la aplicación de programas piloto de gestión de residuos sólidos municipales, con el apoyo financiero de la delegación SIGOLFO del CONACYT de México (proyecto 97 04 004-V). Además de ser parte de la tesis doctoral del autor, dirigida por el Dr. Aurelio Hernández Muñoz, de la cátedra de Ingeniería Sanitaria de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Toda la información está relacionada en la obra del mismo autor "Estado del arte de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales". El enfoque de la metodología es integral y enfatiza la sustentabilidad de los sistemas resultantes; a pesar de que el financiamiento es difícil de conseguir si no se cuenta con el aporte económico del propio generador de residuos. Además, en la mayoría de las ciudades mexicanas, como caso concreto, los costos de gestión de residuos sólidos urbanos han sido sufragados, durante muchos años, con los presupuestos municipales.

La gestión integral de los residuos sólidos debe llevarse a cabo por etapas de minimización. La primera etapa es la reducción en la fuente, la cual implica la disminución de los residuos por medio de prácticas efectuadas rutinariamente por los colonos, principalmente al momento de adquirir los productos de consumo. Sin embargo, la disminución en el consumo depende de factores culturales, sociales, económicos, etc.

La segunda es la separación en la fuente, definida como la clasificación de los residuos generados en la vivienda de acuerdo a su composición, sin importar el origen y almacenados en cualquier tipo de recipiente. Esta actividad debe efectuarse en condiciones de limpieza para asegurar la utilización posterior de los materiales.

La tercera etapa es la recolección selectiva. Ésta vincula y justifica los esfuerzos anteriores, con los tratamientos de reciclaje, compostaje o incineración, debido a que captura los residuos generados y logra encaminarlos hacia la corriente de recuperación más efectiva.

La cuarta etapa se refiere a las alternativas de reciclaje y compostaje. Se reitera que la obtención de los máximos niveles de calidad depende de la separación en la fuente y una recolección selectiva. Así, los residuos orgánicos pueden encaminarse hacia el compostaje. La necesidad fundamental de este proceso es contar con la materia prima en las condiciones más adecuadas posibles para que la calidad del producto final, la composta, no se vea afectada. Así mismo, la recolección selectiva representa la base para lograr la comercialización de los demás materiales recuperados.

En la quinta etapa se proponen las tecnologías de incineración y de relleno sanitario, las cuales son recomendadas únicamente para los residuos que no pueden ser recuperados debido a su composición, ya sea por ser una mezcla de residuos o por ser considerados como rechazos en los tratamientos previos.

En la incineración con control de emisiones y aprovechamiento de energía, la cantidad de residuos requerida al día es alta, lo que se vería repercutido por la recolección selectiva, debido a que se logra una gran recuperación de residuos, además los costos operacionales y de inversión son elevados. En el relleno sanitario, la recolección selectiva es primordial para lograr la disminución del volumen, costos, personal de operación y para aumentar el tiempo de vida útil del mismo.

Una estrategia que parte de la recolección selectiva de los residuos sólidos domiciliarios es la utilización de los Centros de Recuperación de Materiales. Estos pueden funcionar a

corto plazo como empresas o parte de una empresa municipal que integre las diversas funciones que actualmente están fuera de lugar y que deberían ser el corazón de cualquier marco institucional integrado. Son una opción prometedora, dentro de una división de gestión de residuos con autoridad propia para disponer y administrar recursos económicos, con departamentos de soporte que administren actividades específicas.

No importa cómo se formulen las funciones y responsabilidades para crear un sistema institucional integrado y apropiado para las circunstancias locales, debe permanecer prioritario que toda las partes se relacionen entre sí y que los canales de comunicación formales se establezcan y mantengan entre ellas.

La presente guía establece los criterios básicos para planificar la recolección selectiva de los residuos sólidos domiciliarios, la recuperación de materiales para el reciclaje, el sistema de compostaje de residuos sólidos orgánicos y el diseño del relleno sanitario para los rechazos.

No se han considerado los tratamientos térmicos debido al costo tan elevado que implica el cumplimiento de las restricciones ambientales. Estas se deben ejecutar sin considerar la riqueza o pobreza de un país. Además, la calidad de los materiales recuperados deberá dirigirlos a un mejor aprovechamiento que la combustión.

La conveniente aplicación de la guía metodológica y la visión futurista de los planificadores y gestores podrán llevar a los sistemas establecidos a un nivel tecnológico cada vez mayor y a la especialización de los recursos humanos participantes.

I. PROPÓSITO DEL PLAN.

Inducir, establecer y desarrollar la gestión de los residuos sólidos urbanos en los países en desarrollo, con enfoque progresista de los factores socioeconómicos, definida dentro del marco de respeto a los recursos naturales, a la sustentabilidad del medio ambiente y al mejoramiento de la calidad de vida humana.

Se plantea la coordinación de la gestión de residuos con otros municipios vecinos. El enfoque regional provee mayores oportunidades para la comercialización de los materiales recuperados y posibilita la instalación de un relleno sanitario de mayor capacidad y más tiempo de vida útil.

El propósito contempla el mejoramiento de la gestión actual de residuos sólidos y la consolidación de un sistema integral de gestión, con un mínimo de requerimientos de recursos económicos y empleando, dentro de lo posible, a los recursos humanos actuantes en la gestión habitual. Esto es, el personal asalariado que realiza actividades reguladas dentro de un organigrama laboral, y la mano de obra informal y no asalariada que se ha ido incorporando al sistema y de algún modo realizan actividades importantes respecto a la recolección, selección y recuperación de los materiales desechados.

Los objetivos del plan de gestión y las metas técnicas, sociales, sanitarias y económicas, muestran los alcances esperados de minimización y valorización de residuos. Para ello se aplican las etapas de gestión integral más fáciles, factibles y financiables para los países en desarrollo, como son: reducción y separación en la fuente, recolección selectiva, recuperación para el reciclaje de residuos, compostaje y vermicompostaje de residuos orgánicos, gestión de residuos peligrosos y alternativas de utilización y/o aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos y agropecuarios.

La educación ambiental, la concientización de la población, la evaluación de resultados y la retroalimentación son herramientas de apoyo para lograr las expectativas a corto, mediano y largo plazo.

II. OBJETIVOS BÁSICOS

1. Propiciar la conservación de los recursos naturales para la demanda futura, por medio del mejoramiento de la gestión de los residuos sólidos municipales.
2. Incrementar el potencial de utilización de los recursos naturales, mediante la minimización y valorización de los residuos sólidos generados por la sociedad.
3. Incrementar los recursos materiales de fabricación de insumos mediante la recuperación, reutilización y reciclaje de los residuos generados durante su producción y consumo.
4. Proteger los ecosistemas naturales del impacto producido por la disposición de los residuos sólidos municipales y los efectos de los lixiviados y los gases de relleno sanitario.
5. Impedir la afectación de la salud humana por la disposición de los residuos sólidos municipales y los efectos colaterales de los lixiviados y gases de relleno sanitario.
6. Proteger la salud de las personas que laboran directamente en los sistemas de recolección y transporte de residuos sólidos municipales
7. Establecer condiciones técnicas, económicas y legales que faciliten la labor de gestión apropiada de los residuos sólidos municipales.
8. Indicar los límites de las opciones actuales de gestión de los residuos sólidos municipales y destacar la importancia de investigación adicional sobre el tema.
9. Plantear el problema de los residuos sólidos desde su trascendencia como recursos materiales al nivel de bien económico de interés común.
10. Ajustar la planificación territorial para la gestión integral de residuos sólidos municipales a las posibilidades naturales y urbanas.
11. Elegir las soluciones técnicas más adecuadas y que representen el máximo rendimiento de las inversiones dentro de la lucha contra el deterioro ambiental.
12. Desarrollar y capacitar recursos humanos para soportar la introducción y sostenibilidad de actividades efectivas de gestión de residuos.
13. Monitorear y reforzar los estándares para todos los servicios e instalaciones de gestión de residuos sólidos municipales.
14. Constituir y consolidar el acervo bibliográfico e informativo de residuos sólidos, dando acceso a la actualización de materiales de referencia nacional e internacional.

III. METAS TÉCNICAS

1. Implantar la gestión integral de los residuos sólidos municipales, basada en la separación en la fuente y la recolección selectiva.
2. Eliminar los depósitos clandestinos de basura y los depósitos temporales de residuos sólidos recogidos.
3. Sistematizar la recolección de residuos seleccionados para dirigirlos a centros especializados en la separación fina y la recuperación de materiales inertes.
4. Dirigir los residuos orgánicos a los procesos de compostaje y vermicompostaje.
5. Establecer la posibilidad de aprovechar determinados residuos orgánicos domésticos y/o agropecuarios como substrato de cultivo de setas comestibles, alimento para animales de granja u otra alternativa viable.
6. Minimizar las corrientes de residuos sólidos que se destinan a los tiraderos a cielo abierto, por medio de su valorización.
7. Establecer las bases de diseño de las instalaciones de recuperación de materiales y de los demás tratamientos de acuerdo a la demanda actual y futura de los servicios de gestión.

8. Establecer las bases de diseño de los rellenos sanitarios, de acuerdo a la demanda actual y futura de los servicios de gestión.
9. Establecer políticas basadas en planteamientos técnico, legal y económico para combatir eficazmente el deterioro ambiental producido por la mala disposición de los residuos sólidos.
10. Establecer un reglamento de recolección y disposición final de residuos sólidos municipales, acorde con los intereses de prevención y valorización de residuos.
11. Coordinar y controlar a todas las personas físicas o morales, formales e informales, que participan en la gestión habitual de los residuos sólidos generados.
12. Establecer un mecanismo administrativo de vinculación entre los factores técnicos, económicos, sociales y políticos.
13. Establecer estrategias de mitigación y/o eliminación de los impactos negativos producidos por la mala gestión de los residuos sólidos.
14. Implantar sistemas de capacitación y concientización de los recursos humanos que forman parte de la gestión integral de los residuos sólidos municipales.

IV. METAS SANITARIAS

1. Orientar a los habitantes hacia la adecuada separación y almacenamiento de los residuos sólidos, desde sus orígenes, para evitar los vectores de enfermedades y los malos olores.
2. Eliminar los focos de contaminación y sus efectos en los tiraderos a cielo abierto y en los depósitos temporales previos a su disposición final.
3. Disminuir los riesgos de contaminación por medio de la utilización adecuada de los contenedores y la optimización de los medios de transporte de residuos sólidos.
4. Utilizar un relleno sanitario para eliminar el impacto ambiental negativo de los tiraderos a cielo abierto que por efecto de los líquidos lixiviados y los gases generados contaminan los cuerpos de aguas subterráneas y superficiales y mantienen latente el riesgo de incendios.
5. Adecuar las áreas ocupadas actualmente por tiraderos sin control para llevar a cabo en ellas actividades más afines a su vocación ecológica o urbanística, como zonas de esparcimiento, espacios habitacionales, huertas, viveros, etc.
6. Incorporar a todos los servidores de limpieza pública a un orden de higiene y seguridad ocupacional acorde al desempeño de sus labores.

V. METAS ECONÓMICAS

1. Valorizar los residuos sólidos municipales a través de su separación y recuperación para dirigirlos a otros tratamientos como el reciclaje, compostaje, etc., de tal forma que su gestión alcance niveles aceptables de autofinanciamiento.
2. Optimizar los costos de gestión de los residuos sólidos, así como los costos de operación y mantenimiento de las instalaciones de recuperación de materiales, compostaje, etc.
3. Buscar el mejor precio para los materiales recuperados o productos obtenidos dentro de las actividades de gestión y elevar el ingreso económico de los participantes.
4. Mejorar el uso del suelo, al aumentar el tiempo de vida de los rellenos sanitarios y disminuir los impactos negativos de la disposición final incontrolada.
5. Sentar las bases para incorporar el reciclaje y el compostaje en el área de servicio o en su entorno más próximo, optimizando los costos de transporte y producción de los materiales.
6. Promover el desarrollo de la industria de reciclaje de los materiales recuperados.

VI. ÁREA DE SERVICIO

El área de servicio se determina en función de las condiciones políticas, sociales, económicas y geográficas de las zonas urbanas de interés, así como las expectativas de la gestión de sus residuos sólidos.

Factores también importantes son la ubicación y dimensiones del relleno sanitario, por lo que, si las citadas condiciones lo permiten, se unifican las acciones para servir al mayor número posible de habitantes. Como resultado de lo anterior, el área de servicio puede ser:

- **Área urbana del término municipal.** Es la forma más común de gestionar los residuos sólidos. Supone que los problemas ambientales y su resolución son competencia exclusiva de la autoridad municipal, por lo que su mayor desventaja es tener que ubicar y diseñar las instalaciones de gestión limitándose a las posibilidades del territorio municipal, aún habiendo mejores oportunidades en los municipios vecinos. Además la existencia de áreas urbanas ligadas socialmente, pertenecientes a otro término municipal, origina disputas políticas con repercusiones sanitarias y ecológicas.
- **Áreas urbanas de dos o más términos municipales, estando conurbadas.** Es una forma de atender las necesidades de gestión de residuos de acuerdo a la integración social y urbana de dos o más comunidades que conforman una sola pero pertenecen a diferentes términos municipales. Sus ventajas radican en el aprovechamiento eficiente de terrenos para las instalaciones de gestión, como son centros de recuperación de materiales, áreas de compostaje y el relleno sanitario. Además permite acumular mayores cantidades de residuos para reciclaje que alcanzan mejores precios de venta.
- **Áreas urbanas de dos o más municipios, integrando una región definida.** En este caso se aumentan las ventajas de la opción anterior. Las dos requieren una organización de gestión tipo mancomunidad y la aplicación de acuerdos legales intermunicipales. Es trascendental la intervención de grupos inteligentes de gestión que supervisen y evalúen las acciones realizadas para el cumplimiento de las metas propuestas y la dirección hacia el mejoramiento del sistema de gestión integral.

VII. CRITERIOS DE VALORACIÓN

Los criterios de valoración son juicios que finalmente deben mostrar el grado de solución del problema y consideran las normativas cuantitativas y cualitativas referentes a: reducción de residuos en el origen; recolección selectiva de residuos; diseño, construcción y gestión de sistemas compostaje y vermicompostaje; gestión de residuos peligrosos; y diseño, construcción y gestión de rellenos sanitarios y de incineradoras.

Muchos países en desarrollo cuentan con normativas para el diseño, construcción y gestión de rellenos sanitarios y confinamientos controlados. Las demás actividades de la gestión integral aún están pendientes, por lo que se pueden tomar en cuenta las normativas de la Unión Europea, de Canadá y de Estados Unidos de América para conformar los mejores criterios de valoración.

VIII. MARCO CONCEPTUAL Y ESTADO DEL ARTE

En este punto radica el éxito del plan. Los aspectos conceptuales han sido, en principio, desconocidos por muchos de los responsables de la gestión de residuos de muchas ciudades.

Por otro lado, puede haber diferencias de apreciación de los diferentes conceptos que intervienen en los asuntos de la gestión de residuos sólidos, desde políticos hasta

técnicos y científicos. El marco conceptual debe ser accesible a los diferentes niveles de gobierno y a la población.

La diversidad de posibilidades tecnológicas y su desarrollo, hace de la gestión integral una fuente de conocimientos y conceptos, que si no son bien dirigidos, pueden llegar a la complejidad y a ser ignorados por la población.

El estudio del estado del arte y de la técnica ayuda a los tomadores de decisiones a definir los caminos más fiables para aplicarlos a corto, mediano y/o largo plazo en el área de servicio. Los fundamentos de estudio deben contener los siguientes aspectos:

- Conceptos básicos sobre residuos sólidos y gestión integral de residuos sólidos
- Minimización de residuos sólidos
- Recolección de residuos sólidos urbanos
- Recuperación, reutilización y reciclaje de residuos sólidos
- Normatividad de la gestión de RSM
- Conversión térmica de residuos sólidos (incineración, gasificación, pirolisis, etc.)
- Conversión biológica de residuos sólidos (compostaje y digestión anaerobia)
- Disposición final de residuos sólidos y gestión de rellenos sanitarios
- Educación y concientización ambiental

IX. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

El conocimiento y evaluación de la gestión actual de los residuos sólidos municipales juegan un papel importante para la toma de decisiones al momento de establecer el plan permanente de gestión. De los antecedentes de la gestión local depende la selección de los nuevos tratamientos y la determinación de las estrategias para su implantación.

El diagnóstico percibe desde el interés de la población hasta el nivel de responsabilidad y compromiso de los responsables de la gestión y de las autoridades municipales. A menudo, en los países en desarrollo, los responsables y las autoridades municipales son un factor que objeta la implantación de sistemas integrales de gestión de residuos.

IX.1 Identificación de los elementos participantes en la gestión de residuos sólidos municipales en el área de estudio. Se hacen las entrevistas y visitas de reconocimiento pertinentes para identificar todas las partes participantes en la gestión de residuos.

En esta etapa se origina la información completa de responsabilidades y actividades de cada participante. Desde los tomadores de decisiones hasta los recuperadores de residuos en los tiraderos o rellenos sanitarios. Además se anota el tipo de relaciones laborales de las partes. También se identifican las obligaciones, si las hay, de la población servida, respecto a la separación en la fuente, uso de contenedores específicos y el pago del servicio de recolección.

Las entrevistas se inician con los responsables directos de la gestión y entonces ascender y/o descender en los niveles jerárquicos, según se vaya entrelazando la información obtenida. Es conveniente ir obteniendo la información de apoyo a la gestión que exista y las normativas vigentes relacionadas con los servicios de limpieza pública y el tratamiento de los residuos (ver formatos del grupo A).

IX.2 Evaluación de las corrientes de residuos sólidos. Se identifican todas las fuentes generadoras de residuos sólidos, a pesar de que su gestión no dependa del Ayuntamiento Municipal. Por ejemplo, los residuos del sector industrial, del sector hospitalario, etc.

Generación y caracterización de residuos. Esta información se obtiene mediante estudios y muestreos realizados periódicamente por los responsables de la gestión, o en su defecto mediante muestreo y el cálculo respectivo, considerando el tamaño de la población y las diferencias socioeconómicas de la misma. Es también recomendable que este cálculo se determine mediante el estudio de recolección selectiva detallado más adelante.

IX.3 Prácticas actuales de gestión. Muchos aspectos de las alternativas aplicadas se han desarrollado a través del tiempo y responden, en el mejor de los casos, a la implicación de los usuarios en la gestión de los residuos sólidos. Quizás ellos han propiciado la simplificación de las actividades cotidianas y podrían opinar acerca del mejoramiento de la gestión.

- **Proveedores de servicios.** Usualmente los servicios de la gestión en los países en desarrollo han sido cubiertos por los departamentos de limpieza de los Ayuntamientos Municipales. En raras ocasiones, aunque cada vez más, han sido empresas que por concesión municipal llevan a cabo el servicio de recolección y disposición final de residuos. Los servicios del tratamiento de residuos, cuando existen, son concesionados a empresas desligadas de la burocracia municipal. La investigación de los proveedores gira en torno a las prácticas de gestión que realizan, las perspectivas de desarrollo que tienen y los demás aspectos que se describen en este apartado.
- **Reducción en la fuente.** Identificadas las fuentes de residuos sólidos se hacen sondeos, entrevistas y encuestas conducentes al conocimiento de las prácticas que se llevan a cabo en las zonas habitacionales, industrias, comercios, hospitales, empresas y escuelas, todas ellas generadoras de residuos y demandantes del servicio de recolección y disposición final. Se indagan todas las posibilidades de reducción en la fuente para considerarlas en los planes futuros de mejoramiento y estandarización de la gestión.
- **Recolección.** La recolección de los residuos sólidos ha sido, tal vez, la etapa más socorrida en los municipios. Se ha visto erróneamente como sinónimo de gestión de residuos sólidos municipales y se ha destinado a esta actividad la mayor parte del presupuesto. En los últimos años han surgido nuevos sistemas de recolección y otros han evolucionado. Es necesario que se registren todos los métodos de recolección que existan en la localidad, distinguiendo los que han surgido de la cultura local y los establecidos por los gobiernos. Asimismo, se registra la efectividad de los sistemas de recolección, en función del nivel de satisfacción de las exigencias de la población, los tiempos de recolección, el personal necesario para realizarla, la periodicidad de la recolección, los costos del servicio. Se toman en cuenta las sugerencias de la población para el mejoramiento de los sistemas existentes.
- **Procesamiento.** Se averiguan y registran las etapas que siguen a la recolección. Debido a que en la mayoría de las ciudades medias no está sistematizada la gestión de los residuos sólidos, estos siguen muchas veces direcciones no identificadas por las autoridades locales. De ahí que es conveniente y necesario identificar dichas tendencias e investigar sus puntos buenos. Estos podrían funcionar muy bien si se integran al plan definitivo de gestión.
- **Recuperación y reciclaje de materiales.** Normalmente la recuperación de materiales se lleva a cabo en todas partes. Dependiendo de los objetivos y las políticas de gestión, puede presentarse de modo informal o formal. Se investiga la existencia de instalaciones de recuperación y reciclaje de materiales, así como de compostaje u otro tratamiento de residuos orgánicos. Respecto a la segregación y recuperación de materiales se identifican las cantidades y tipo de residuos que tienen demanda y las posibilidades de recuperación de los que no, así como las razones por las que no se recuperan. Es importante registrar los costos de compra y venta de los materiales recuperados, tanto en el nivel local como a escala estatal o nacional.
- **Combustión.** La combustión es un tratamiento de mucha utilidad si se lleva a cabo con aprovechamiento de energía. Se investigan la existencia de instalaciones de combustión en la localidad, en el sentido de conocer a fondo los volúmenes y tipos de

residuos procesados, las limitaciones económicas, sociales y legales que se enfrenta la operación de la planta, las relaciones de la empresa con las autoridades y el cumplimiento de las normas ambientales.

- **Rellenos sanitarios y/o tiraderos a cielo abierto.** Se examinan la localización y características básicas de los sitios de disposición final; las características de ingeniería del área de disposición, como son las instalaciones para la recuperación de lixiviados y gases, el equipo y la maquinaria utilizada para el relleno y su cobertura; los recursos humanos y las condiciones de trabajo; la calidad de los residuos sólidos recibidos, las cantidades recibidas en peso y volumen; otros tipos de residuos recibidos; y las condiciones ecológicas del entorno del área de disposición final y los problemas de contaminación ambiental. Se registra la existencia de recuperadores de materiales y su relación con las autoridades, los métodos de comercialización de los materiales segregados y los costos de recuperación.
- **Costos.** Es preciso cuantificar el costo de la gestión actual. En este caso, los responsables de la gestión tendrán una contabilidad de los egresos e ingresos relacionados con la ejecución del servicio. Además, si es posible se consideran los ingresos estimados de la comercialización de los materiales recuperados.

IX.4 Calidad ambiental relacionada con la gestión actual de residuos. En cada una de las etapas investigadas anteriormente se observan y registran las condiciones ambientales y de salud de los elementos participantes en la gestión. A menudo existen viviendas en el entorno de los tiraderos y sus moradores hacen uso del medio (agua y suelo) para satisfacer sus necesidades básicas, sin considerar las repercusiones negativas que ocasiona su utilización. Es necesario evaluarlas para que justifiquen, de alguna manera, los cambios propuestos con los planteamientos de gestión integral.

X. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS RECOMENDABLES

Las etapas anteriores facilitan la selección de los métodos que potencialmente pueden incluirse en el plan de gestión de residuos sólidos. Estos métodos se evalúan para decidir su aplicación definitiva y establecer los aspectos contemplados en la etapa XI.

Los métodos aplicables en las ciudades medias de los países en desarrollo son la recolección Selectiva, la Recuperación y el Reciclaje de materiales, el Compostaje y el Vermicompostaje de residuos orgánicos y el Relleno Sanitario de los rechazos. Además es de interés evaluar las posibilidades de reutilización, aprovechamiento y/o reciclaje de los residuos en el contexto regional.

X.1 Evaluación de la recolección selectiva (con separación en la fuente). La evaluación de la recolección selectiva (con separación en la fuente) se lleva a cabo en muestras representativas de la población. Las etapas básicas se describen a continuación y se apoyan con los formatos del grupo B:

1. Se identifican y tipifican las colonias o barrios que integran la ciudad en cuatro grupos, en función de las características urbanas y el nivel socioeconómico de sus habitantes:
 - Tipo A: Áreas residenciales con viviendas de valor arquitectónico elevado separadas entre sí, cuentan todos los servicios urbanos, áreas verdes y zonas de esparcimiento;
 - Tipo B: Áreas residenciales con 80 a 90 % de cobertura de servicios urbanos y viviendas de arquitectura variada entre valor alto y bajo, normalmente han evolucionado a partir del tipo D;
 - Tipo C: Áreas habitacionales de viviendas múltiples, adosadas o independientes de valor medio, 80 a 100 % de cobertura de servicios urbanos, responden a desarrollos urbanos planificados para cubrir la demanda de vivienda; y

- Tipo D: Áreas habitacionales con servicios urbanos deficientes, viviendas de valor medio a bajo con patios, normalmente ubicadas en el entorno de la mancha urbana e iniciadas como asentamientos irregulares.
2. Se elige de forma aleatoria una sección urbana de cada tipo que incluya 400 habitantes. Ello requiere la consulta de los reportes censales oficiales o, en su defecto, la aplicación de encuestas en las áreas seleccionadas para determinar el número de habitantes por vivienda.
 3. La misma encuesta del punto anterior se aplica para conocer las condiciones físicas de la vivienda, el interés de la población por el mejoramiento ambiental y el manejo que se da a los residuos sólidos en la fuente.
 4. Se estima la población total de toda la ciudad y por cada uno de los grupos socioeconómicos identificados, para ser considerada en el cálculo de la generación promedio de toda la ciudad y la generación per cápita.
 5. Las actividades a realizar se coordinan con las autoridades competentes y se emiten boletines informativos para hacerlo del conocimiento de los individuos encuestados. Se elaboran folletos y guías de apoyo para la concientización de la población muestra.
 6. La recolección selectiva aprovecha el apoyo de los recogedores domiciliarios, si los hay, o el servicio de recolección del ayuntamiento municipal. Los recogedores domiciliarios son instruidos para recoger los residuos separados en cada domicilio, de acuerdo a la **guía de separación en la fuente**.
 7. El programa se basa en la separación en la fuente utilizando bolsas distintivas, costales y atados con cordón:
 - Bolsa verde para residuos orgánicos de cocina;
 - Bolsa amarilla para los envases de plástico, metal, vidrio y tetrapack;
 - Bolsa roja para los demás residuos y rechazos como papel sanitario, residuos peligrosos, etc.;
 - Los residuos de jardinería se reciben en atados o en costales; y
 - El papel y cartón en atados con cordón.
 8. Se instruye y mentaliza a los participantes en la recolección de muestreo utilizando el instructivo y la guía de recolección selectiva.
 9. Se orienta y educa a la población muestra con el apoyo del instructivo y la guía de recolección selectiva, además de acercarse lo más posible a los domicilios para aclarar verbalmente la información escrita.
 10. El muestreo de recolección selectiva se realiza en un periodo mínimo de tres semanas. En la primera semana se confirman y ajustan los detalles de la selección en la fuente y de la recolección selectiva. La segunda y tercera semanas permiten corroborar los detalles de la recolección y los valores obtenidos. Durante las tres semanas se hacen las anotaciones de acuerdo a los formatos del grupo B.
 11. Los materiales a separar responden a una etapa secuencial definida: los residuos orgánicos para el compostaje y/o vermicompostaje; los residuos de envases y embalajes para la separación, reutilización y reciclaje; los residuos peligrosos para la separación y reciclaje; y los rechazos para el relleno sanitario.
 12. La recolección de materiales separados se programa durante los días de la semana, de acuerdo a la disponibilidad del servicio de recolección y al tiempo máximo que los residuos pueden permanecer almacenados en el domicilio (por ejemplo, los residuos orgánicos de cocina no deben permanecer más de dos días en la vivienda, mientras que los residuos inertes pueden permanecer más tiempo).
 13. El **instructivo básico** contiene información útil como: definición, composición y otros aspectos de los residuos sólidos domésticos; separación en el origen; recolección selectiva, definiciones y beneficios; otros puntos de interés en cuanto a la gestión de residuos sólidos; y recomendaciones del proceder hacia el recogedor domiciliario.
 14. La **guía para la recolección selectiva** incluye: días elegidos para la recolección; tipo y color de contenedor o forma de almacenamiento para recoger selectivamente los residuos sólidos; materiales aceptados en los contenedores y formas de almacenamiento según las características de reciclaje, peligrosidad o tratamiento

posterior del residuo; y recomendaciones para cada tipo de residuo y para el buen uso del recipiente.

15. Las **hojas de control** consideran al menos: colonia o barrio de muestreo, calles, fecha y día de recolección; y número de casa, número de habitantes, si entrega o no entrega residuos, como se entregan o reciben; y observaciones.
16. Los residuos obtenidos en cada recolección se clasifican y cuantifican, determinando así la cantidad generada de cada tipo de residuo. Para ello se trasladan los residuos a un área definida para tal fin. Los residuos que no estén bien separados en la fuente se separan en el área de trabajo y se integran a la corriente correspondiente.
17. Los residuos separados se aplican en los tratamientos sucesivos (X.2 a X.6). En esta etapa se obtiene la generación promedio de residuos sólidos por habitante y por día. Además, se obtiene la generación por tipo de residuo. Para ello se toma en cuenta la proporción poblacional de cada nivel socioeconómico establecido.
18. Se estima el perfil de participación ciudadana de acuerdo a los datos recabados en las hojas de control por día de muestreo. Las cuales presentan las observaciones realizadas respecto a las condiciones en que se reciben las bolsas o recipientes de cada domicilio, es decir, si los residuos presentan condiciones de separación buenas, regulares o malas, y si los habitantes están participando adecuadamente.

X.2 Potencial de recuperación y reciclaje de materiales. El potencial de recuperación de residuos se determina cuantificando cada tipo de residuo separado, que puede potencialmente ser comercializado para su reutilización o reciclaje. Para ello se consideran las empresas que realizan la compra y venta de materiales de desecho, referidas en la etapa de diagnóstico de la gestión de residuos sólidos (etapa IX). Se determina la recuperación económica potencial, suponiendo que el 100 % de los materiales recuperados tienen una salida hacia el reciclaje o el compostaje.

X.3 Compostaje de residuos de cocina, jardinería y agropecuarios. A partir de los residuos seleccionados en la fuente y recogidos de acuerdo a la etapa anterior, se destinan los residuos orgánicos al área de compostaje.

Se conduce una prueba piloto de compostaje para determinar el rendimiento del proceso, la tasa de reducción de peso y volumen y los factores de control, como son la temperatura, la humedad, los tiempos de compostaje y maduración de la composta, así como el control de los olores y lixiviados. El proceso se aplica de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

1. La distancia entre la instalación de compostaje y los cuerpos de agua superficiales tales como ríos, lagos, humedales o estuarios, no debe ser menor a los 100 m.
2. El área deberá tener una pequeña inclinación para permitir el escurrimiento natural del agua; y debe estar limpia de residuos inertes; además debe contar con una vía de acceso al área apta para todo tiempo.
3. Los residuos seleccionados para el proceso de compostaje no deben contener objetos punzocortantes mayores de 25 mm de diámetro; deben estar limpios de residuos inertes.
4. El material destinado para el proceso de compostaje se tritura hasta lograr un diámetro de 3 a 5 cm, ya que así se acelera el proceso de degradación de la materia orgánica.
5. Los residuos triturados se depositan en forma de pila para su degradación. Las pilas deben tener las siguientes dimensiones: 2 m de ancho, 1.5 m de alto; y el largo no debe pasar de 20 m.
6. Se cuida que el proceso se desarrolle adecuadamente, para reducir los patógenos por calentamiento del material a 55°C durante 3 días como mínimo, también debe cuidarse la frecuencia de volteo de las pilas, ya que como mínimo debe recibir 5 volteos durante todo el proceso, además la humedad debe ser del 60 al 70 %.
7. Se hacen anotaciones de la temperatura y la humedad diariamente, lo cual irá determinando la necesidad de volteos y riego con agua. El proceso puede durar de 3

a 5 meses, definida la terminación por la estabilidad de la temperatura con respecto a la ambiental.

8. Se anotan las observaciones referentes a la generación de olores, lixiviados, atracción de moscas u otros insectos. La aparición de algunos de estos factores puede disminuirse cubriendo las pilas con composta madura, o en su defecto cubriéndolas con residuos de jardinería en los primeros días de procesamiento.
9. La composta terminada no debe contaminarse con los demás residuos. Terminado el proceso de compostaje, se criba con una malla de 3 mm de diámetro, el material que no logre pasar por esta malla se deposita en otra pila en proceso para finalizar su degradación.
10. Después de cribar la composta se permite la maduración del mismo por un periodo mínimo de 6 semanas antes de ser aplicado en agricultura, jardinería, etc.
11. La composta madura se analiza en el laboratorio para determinar su calidad. Los parámetros mínimos a analizar son: pH, granulometría, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, relación C/N, humedad, cenizas, fósforo total, potasio, sodio y metales pesados.

X.4 Vermicompostaje de residuos de cocina, jardinería y agropecuarios. Este método se valora como una alternativa aplicable en sistemas integrales que presentan como uno de sus propósitos producir composta de la mejor calidad, ya sea desde el inicio de la puesta en marcha del plan, o de preferencia como una alternativa aplicable en periodos más avanzados. El método se evalúa de la siguiente manera:

1. Para iniciar el proceso es necesario adquirir como mínimo un pie de cría de lombriz a utilizar. Entre las más comerciales se encuentran *Eisenia andrei*, *Perionyx excavatus* y *E. foetida*. Deben seguirse al pie de la letra las recomendaciones del proveedor para el transporte y adaptación de las lombrices.
2. Es recomendable recibir una capacitación práctica de la técnica para conocer su gestión, traslado, control de factores ambientales y la adaptación a un nuevo medio. Esta capacitación puede ser concertada con los técnicos o investigadores de la empresa proveedora de lombrices.
3. El lugar en donde se va a ubicar el proceso de vermicompostaje debe tener acceso adecuado para transportar los substratos orgánicos destinados a la alimentación de las lombrices, abundante disponibilidad de agua, canales para el drenaje de las aguas de lluvia y de riego, así como superficie nivelada. El lugar elegido no debe tener árboles frutales, ni plantas resinosas cuando el vermicompostaje se hace al nivel de suelo y no en vermicomposteros previamente diseñados.
4. Los vermicomposteros o literas se construyen de 1 m de ancho x 3 m de largo x 1 m de altura. El material de construcción puede ser bloques de concreto, se sugiere dejar tubos de drenaje en el fondo de adentro hacia afuera para ayudar a tener un mejor drenaje de agua y de lixiviados. De fondo se utiliza grava o gravilla y una malla; es necesario pintar con cal los vermicomposteros para controlar y evitar que penetren al mismo las hormigas u otro tipo de insectos que compiten por los alimentos y puedan alterar el proceso. Se tapan las literas para evitar la penetración de la luz que afecta a las lombrices, permitiendo el paso del aire.
5. El substrato alimentario constituye la base del lecho y se forma a partir de los materiales orgánicos obtenidos de la recolección selectiva, pudiendo mezclarse con residuos agropecuarios como son: estiércoles, residuos agroindustriales (pulpa de café, cachaza de la caña de azúcar, cascarrilla de patata, etc.). Los residuos urbanos incluyen residuos de cocina (exceptuando huesos y carnes), residuos de jardinería (pastos, flores y hojas) y otros.
6. El substrato se prepara únicamente con residuos orgánicos "precomposteados". Es necesario hacer la prueba de acidez a los residuos orgánicos que se van a utilizar como substratos con la finalidad de controlar el estado de maduración y descomposición. Esto varía de acuerdo al tipo de substrato que se utilice. El estiércol de vacuno madura de 4 a 6 meses, y para el caso de residuos de cocina y jardín se precompostean durante 15 días aproximadamente.

7. El precompostaje es parte importante del proceso debido a que los residuos orgánicos frescos durante la fase de maduración y descomposición tienen mucha variación de pH en el rango muy ácido y temperatura alta que puede afectar el desarrollo de las lombrices, por lo que se considera la etapa más importante. Pasando esta etapa, el sustrato alcanza una temperatura de aproximadamente 26°C y un pH entre 6.8 y 7.2; se recomienda regar con agua todo el sustrato para que quede ligeramente humedecido, entonces el sustrato está listo para ser utilizado como alimento para las lombrices.
8. Si la inoculación se va a realizar en un lugar diferente, respecto a las condiciones ambientales, es necesario que las lombrices se adapten a su nuevo hábitat durante unos días; y teniendo en cuenta las consideraciones del punto anterior, se parte de la base de que el sustrato ya está previamente preparado, entonces se procede a incorporar las lombrices, con algo de sustrato original, en los vermicomposteros, se utiliza un rastrillo sin punta (para no lastimar las lombrices) con el fin de igualar toda la superficie procurando que tanto las lombrices como el alimento queden mezclados y una vez que esté uniforme se procura un riego continuo.
9. Durante la primera semana se controla el lecho diariamente (temperatura, pH, humedad), durante este tiempo las lombrices mayores habrán comenzado a alimentarse con el nuevo sustrato, en esta etapa no debe añadirse otro tipo de alimento. Posterior a la incorporación de las lombrices, después de 2 a 2 ½ meses aproximadamente, que es cuando se obtiene el primer humus de lombriz, se hace el suministro periódico de alimento de acuerdo con la fuente seleccionada (para residuos domésticos, residuos de cocina y otros cada 15 días o cada 30 días si es estiércol) si lo que se quiere es un cultivo y reproducción continua de lombrices.
10. Es necesario llevar a cabo el control ambiental y revisión continua del lecho para que la transformación de los residuos sea factible al igual que la función y reproducción de las lombrices. Los parámetros de control son: humedad, pH, temperatura, luz y ventilación. El rango de temperatura más aceptable es de 19 a 26°C.
11. Para recoger el humus de lombriz todo el sustrato convertido en humus se hace a un lado del vermicompostero de manera que ocupe solo la mitad de éste. Se retrasa por unos días el suministro del nuevo alimento, para que las lombrices estén hambrientas, pasando esos días se coloca el nuevo sustrato previamente tratado en la otra mitad del vermicompostero. A partir de ese momento las lombrices por sí solas buscarán el alimento y se pasarán al nuevo sustrato de manera que dejarán casi libre el humus producido que se encuentra en la otra mitad del vermicompostero. Se deja así durante tres semanas y se procede a cribar. Para facilitar el cribado es necesario que la humedad oscile entre 50 y 60 %.
12. El cribado se realiza manualmente colocando una cantidad del humus de lombriz sobre la criba y se mueve en forma horizontal, entonces se separa el humus cayendo hacia abajo, después el humus es recolectado. Todo el material y las lombrices que quedan en la criba se colocan en el nuevo lecho. Se pesa el humus obtenido para conocer la cantidad de residuos orgánicos transformada en humus.
13. La calidad química del humus de lombriz depende básicamente del sustrato que les dio origen. Para determinar la calidad del humus se realiza la caracterización físico-química del humus producido, analizando los mismos parámetros de la composta del apartado X.3.
14. Se anotan todos los detalles observados durante el proceso y se evalúan para determinar las condiciones que deberán tomarse en cuenta para la planificación del sistema integral de gestión.

X.5 Evaluación de las necesidades de relleno sanitario. A pesar de que el relleno sanitario de los residuos sólidos no es el objetivo de la gestión integral, sigue siendo indispensable como destino final de los rechazos y materiales que todavía no entran en alguna cadena de reciclaje. Las necesidades de relleno sanitario dependen, además de lo anterior, de las políticas de recuperación de materiales que se imponga la administración y de la respuesta de los usuarios del servicio de gestión. Por ahora, se retoma la

información generada en las etapas IX (diagnóstico) y X.1 (recolección selectiva) para estimar las demandas de espacio para el relleno sanitario, para lo cual:

- Se proyecta la demanda futura de disposición final de residuos sólidos urbanos, con y sin metas de recuperación de materiales, considerando el crecimiento de la población (ver formatos del grupo C). En este punto, el establecimiento de las metas de recuperación obedece a la política de gestión integral y se soporta en las acciones realizadas o planeadas para alcanzar las tasas de separación y procesamiento de los materiales.
- Se evalúan las ventajas y desventajas del mejoramiento del relleno sanitario y de llevarlo al extremo mínimo de utilización, tomando en cuenta los costos del servicio y los ingresos por comercialización de los residuos, así como el incremento en años de la vida útil de la instalación.

X.6 Otros métodos de aprovechamiento o reciclaje de residuos sólidos. La investigación y el estudio para la planificación de los sistemas de gestión de residuos sólidos inciden en los procesos más factibles para su reutilización y aprovechamiento.

- Respecto a los residuos inertes con antecedentes probados de reciclaje, como el vidrio, metales, papel y cartón, se evalúa el comportamiento del mercado e industria de reciclaje, para proponer enmiendas en el proceso de comercialización y estimular la aceptación de mayores volúmenes de residuos recuperados.
- Los residuos sólidos con problemas de colocación en los mercados e industria del reciclaje, como los plásticos, tetrapack, residuos peligrosos, etc., requieren una fuerte gestión para promover el establecimiento del reciclaje y tratamiento de los mismos. Además, es necesario proponer modificaciones a la normatividad para suprimir las malas costumbres y estimular la gestión inteligente de los residuos sólidos.
- Los tratamientos biológicos de residuos orgánicos como el compostaje y el vermicompostaje no deben ser las únicas alternativas evaluadas. Con el tiempo deben evaluarse otras alternativas como la digestión anaerobia, el compostaje en reactor, el co-compostaje y vermicompostaje de residuos domésticos con lodos de tratamiento de aguas residuales.
- Los residuos sólidos orgánicos separados en la fuente pueden llegar a comportarse como residuos agropecuarios, dependiendo de la calidad de la separación y de la recolección, por lo que se deben probar alternativas de aprovechamiento de tales residuos, ya sea como substrato simple o combinado entre urbanos y agropecuarios.
- Al respecto, muchos residuos orgánicos son ya aprovechados como alimento para animales de granja, por lo que se considera como una alternativa viable que requiere ajustarse a normas de control de calidad para evitar impactos negativos sobre la salud. Otro caso es la producción de setas comestibles a partir de residuos de jardín y de poda de árboles, que rinden mejor en combinación con residuos agropecuarios.

XI. ESTABLECIMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

Los métodos que conforman el plan de gestión integral de los residuos sólidos generados en las ciudades medias de los países en desarrollo son:

- Recolección selectiva con separación en la fuente (principalmente domiciliaria);
- Separación de residuos y recuperación de materiales;
- Comercialización de materiales para el reciclaje;
- Compostaje de residuos de cocina, jardinería y poda de árboles;
- Vermicompostaje de residuos de cocina y residuos agropecuarios;
- Relleno sanitario; y
- Otros métodos de aprovechamiento de residuos orgánicos.

Los métodos seleccionados se aplican con tecnología moderada, lo cual implica la utilización de la mano de obra que ya se dedica a labores de limpieza pública y el menor costo posible de inversión, sin afectar la calidad del servicio y el financiamiento del mismo.

Esencialmente el plan se basa en la recolección selectiva y la separación de los residuos sólidos domésticos para su posterior procesamiento. La magnitud de la generación de residuos sólidos y las necesidades de recursos humanos y materiales para la separación de los residuos inertes y el compostaje de los residuos orgánicos conlleva a determinar que dichas etapas se realicen por secciones urbanas para facilitar su ejecución.

Se ha estimado que el tamaño adecuado de cada sección corresponda a la población que genera alrededor de 10 toneladas diarias de residuos sólidos y que sea atendida por un grupo de personas adiestradas para realizar la recolección selectiva domiciliaria, la separación y el compostaje en instalaciones acondicionadas para tal fin. Además, han de considerarse las características topográficas, de vialidad urbana y demográfica del contexto global urbano actual y futuro, para determinar la ubicación de las instalaciones.

XI.1 Separación en la fuente y recolección selectiva.

Separación en la fuente. La separación en la fuente y la recolección selectiva de los residuos sólidos urbanos se basan en el método aplicado en la etapa de evaluación X.1. Particularmente se utilizan el instructivo básico y las guías de separación en la fuente, de acuerdo a los formatos del grupo B y se aplican las mismas estrategias de concientización ciudadana.

Sistema de recolección de residuos. La recolección selectiva se lleva a cabo mediante triciclos de carga motorizados con una canasta o contenedor, imitando la recolección en triciclo ya existente en algunos barrios. Con la diferencia que la canasta de carga es de 1 m³ de capacidad, y tiene una puerta posterior abatible con asa para facilitar la descarga de los materiales (ver figura 11.1).

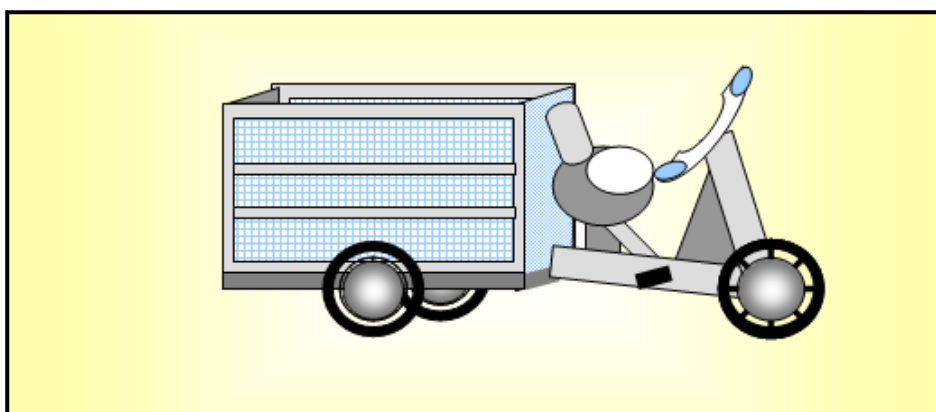


Fig. 11.1. Mototriciclo para recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios

- Los recogedores domiciliarios se capacitan e instruyen para promover la efectividad de la separación en la fuente, de igual manera que en la etapa X.1. Ellos también pueden participar en la separación mayor de los residuos o dedicar el total de su tiempo laboral a la recolección selectiva.
- Los residuos se separan en la fuente y una vez recogidos son llevados a un Centro de Recuperación de Materiales y Compostaje (CREMAC), de acuerdo a su composición:
 - ♦ Orgánicos (residuos de comida y jardín);
 - ♦ Envases (vidrio, metal, plástico y tetrapack);
 - ♦ Tela, papel y cartón; e

- ♦ Indeseables (papel del servicio sanitario, peligrosos sin reciclaje, etc.)
- En la implantación permanente del plan de gestión no es necesaria la utilización de bolsas de colores. Puede emplearse cualquier tipo de bolsas disponibles, o si es más cómodo, pueden usarse contenedores rígidos de plástico, metal, madera, etc., que los recogedores domiciliarios vacían y devuelven a su dueño.
- Se debe asegurar la separación en la fuente mediante supervisión periódica y si se desea mejorar la participación ciudadana se incluye en los costos y presupuestos la dotación de contenedores a cada domicilio del área urbana servida.
- La recolección selectiva se realiza puerta a puerta tres veces por semana y se divide la zona urbana de servicio en dos para optimizar el uso de los mototriciclos, es decir, se atienden dos grupos generadores de aproximadamente 5 toneladas de residuos sólidos cada uno.
- De esa manera, una sección recibe el servicio de recolección los lunes, miércoles y viernes; y la otra sección, los martes, jueves y sábados, como se muestra en la tabla XI.1. Los residuos sólidos recogidos llevan un nivel de mezclado que todavía requieren otra separación antes de conducirlos al reciclaje, compostaje o disposición en rellenos sanitarios. Esta separación se lleva a cabo en instalaciones diseñadas para tal fin y que aquí se denominarán CREMAC's.

Tabla XI.1. Programación de la recolección domiciliaria por tipo de residuo.

TIPO DE RESIDUO	DÍAS DE RECOLECCIÓN	
	PRIMERA SECCIÓN	SEGUNDA SECCIÓN
Residuos de comida y jardín	Lunes, miércoles y viernes	Martes, jueves y sábado
Vidrio, metal, plástico y tetrapack	Lunes y miércoles	Martes y jueves
Papel, cartón y ropa	Viernes	Sábado
Indeseables y otros	Lunes, miércoles y viernes	Martes, jueves y sábado

- Se organiza la distribución de recolección de los mototriciclos de acuerdo al volumen estimado de cada grupo de residuos y a los viajes que se requieren para su transporte. Además se considera la sectorización del área urbana servida, misma que puede subdividirse para efectos de mejorar la distribución de los recolectores domiciliarios.

Cálculo del número de vehículos de recolección. Se calcula el número de mototriciclos de carga necesarios para trasladar la recolección selectiva de las viviendas al CREMAC, de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Retomar el peso en kg y el volumen en m³ de la generación total y por tipo de residuo sólido per cápita y para 5,000 personas (hacer la conversión de kg a m³ empleando los pesos específicos de residuos obtenidos en la evaluación de la recolección selectiva del punto X.1, o en su defecto se pueden emplear los datos típicos suministrados por fuentes bibliográficas).
2. Estimar el volumen en m³ de residuos sólidos a recoger por día de recolección (la generación total en m³ de 7 días de la semana dividida entre los 3 días de recolección).
3. Calcular el número de viajes a realizar para recoger el volumen generado por día de recolección (la suma total de los volúmenes de residuos sólidos a recoger dividida por la capacidad del medio de transporte, en este caso es 1 m³ por mototriciclo de carga).

4. Calcular el número de motocicletas necesarios para cubrir la demanda de viajes del punto 3, considerando que cada uno puede hacer 4 viajes por jornada (número total de viajes a realizar por día dividido entre 4 viajes por motocicleta).

Recursos humanos. El grupo de trabajo de recolección selectiva se integra de la siguiente manera:

- 15 a 20 recogedores domiciliarios (1 por cada motocicleta de carga calculado).
- 1 supervisor/coordinador de separación en la fuente y recolección selectiva.
- 1 auxiliar para la concientización ciudadana.

XI.2 Separación y recuperación de materiales.

CREMAC's. La separación mayor de los residuos recogidos selectivamente se realiza en instalaciones que funcionan como centros de acopio, separación y escala intermedia para la comercialización de los materiales recuperados. Esto es lo que se establece como Centros de Recuperación de Materiales y Compostaje (CREMAC's) y que incorporan la mano de obra informal existente en la recolección y en los tiraderos o rellenos sanitarios.

Los recursos humanos se capacitan para el trabajo de igual forma que el personal que participa en las etapas anteriores.

Un CREMAC se planifica considerando las cantidades estimadas de residuos reciclables y composteables que conforman las 10 toneladas de residuos sólidos establecidos como base de diseño del plan.

Las instalaciones tipo CREMAC imitan las grandes instalaciones de los países desarrollados, con la diferencia que no cuentan con mecanismos automatizados de transporte y/o separación de residuos.

El área de compostaje forma parte del CREMAC para que se dispongan inmediatamente los residuos orgánicos y se compartan el almacenamiento y venta de materiales, la disposición de rechazos, la vigilancia y los servicios sanitarios (ver punto XI.3).

El CREMAC que se muestra en las figuras 11.2, 11.3 y 11.4 se diseña considerando las medias de generación y clasificación de residuos sólidos urbanos de los países latinoamericanos y los estudios de evaluación que originan esta metodología.

Para ello se toma como base que cada individuo genera alrededor de 1 kg/día de residuos sólidos y que aproximadamente el 50 % de los residuos sólidos son residuos orgánicos putrescibles. Además, se estima que cada operario puede separar en una jornada entre 250 y 300 kg de residuos sólidos (orgánicos no putrescibles e inertes), mientras que los orgánicos putrescibles tienen como destino el compostaje o vermicompostaje.

El CREMAC (fig. 11.2) está integrado por: Área de separación de materiales inertes (fig. 11.3), Área de almacenamiento de materiales recuperados (fig. 11.3), y Área de compostaje (fig. 11.4).

Área de separación de residuos inertes. La sección de separación de materiales consta de un área de recepción y acopio de los residuos recogidos selectivamente y una mesa de separación, la cual es una mesa de concreto de 5 m de largo por 1 m de ancho y 0.9 m de altura (ver fig. 11.3).

El área de separación y almacenamiento de materiales se construye con piso de cemento; la altura de la instalación y los materiales de construcción se eligen de acuerdo

al clima de la región y a la disponibilidad de recursos económicos. Las sugerencias de áreas techadas, paredes completas y medias paredes se muestran en la figura 11.3.

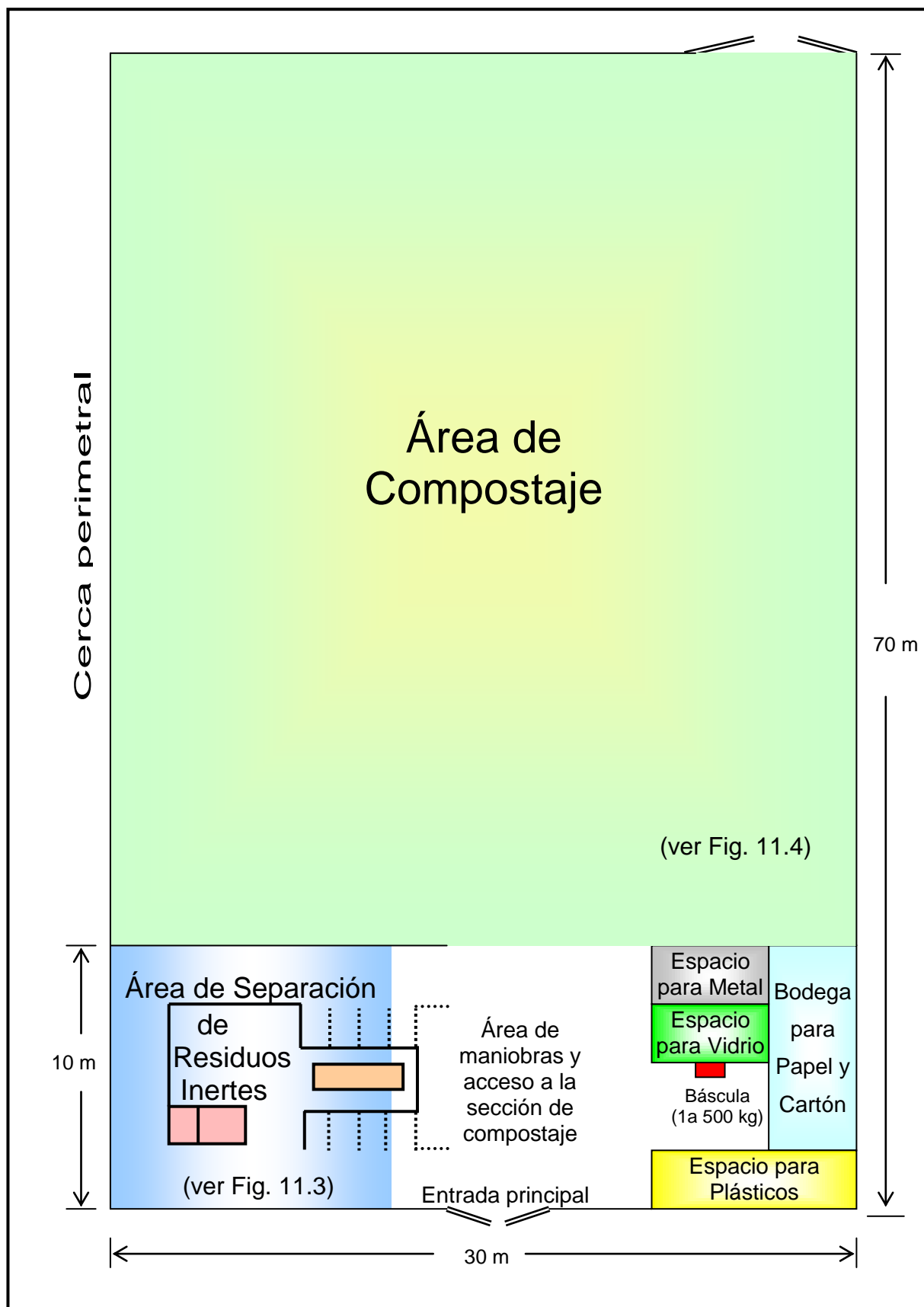


Fig. 11.2 Croquis del Centro de recuperación de materiales y compostaje (CREMAC)

- Los residuos sólidos recogidos se colocan previamente pesados en alguna de las siguientes áreas, según su composición:
 - a) Almacenamiento temporal de residuos: residuos sólidos de envases y embalajes.
 - b) Bodega para papel y cartón y espacios para plástico, metal y vidrio: cada residuo en su espacio correspondiente cuando llegan separados adecuadamente y no requieren pasar por la mesa de separación.
 - c) Área de compostaje: residuos sólidos orgánicos de cocina, jardín y poda de árboles.
 - d) Área de residuos rechazados e indeseables: residuos separados como tales.

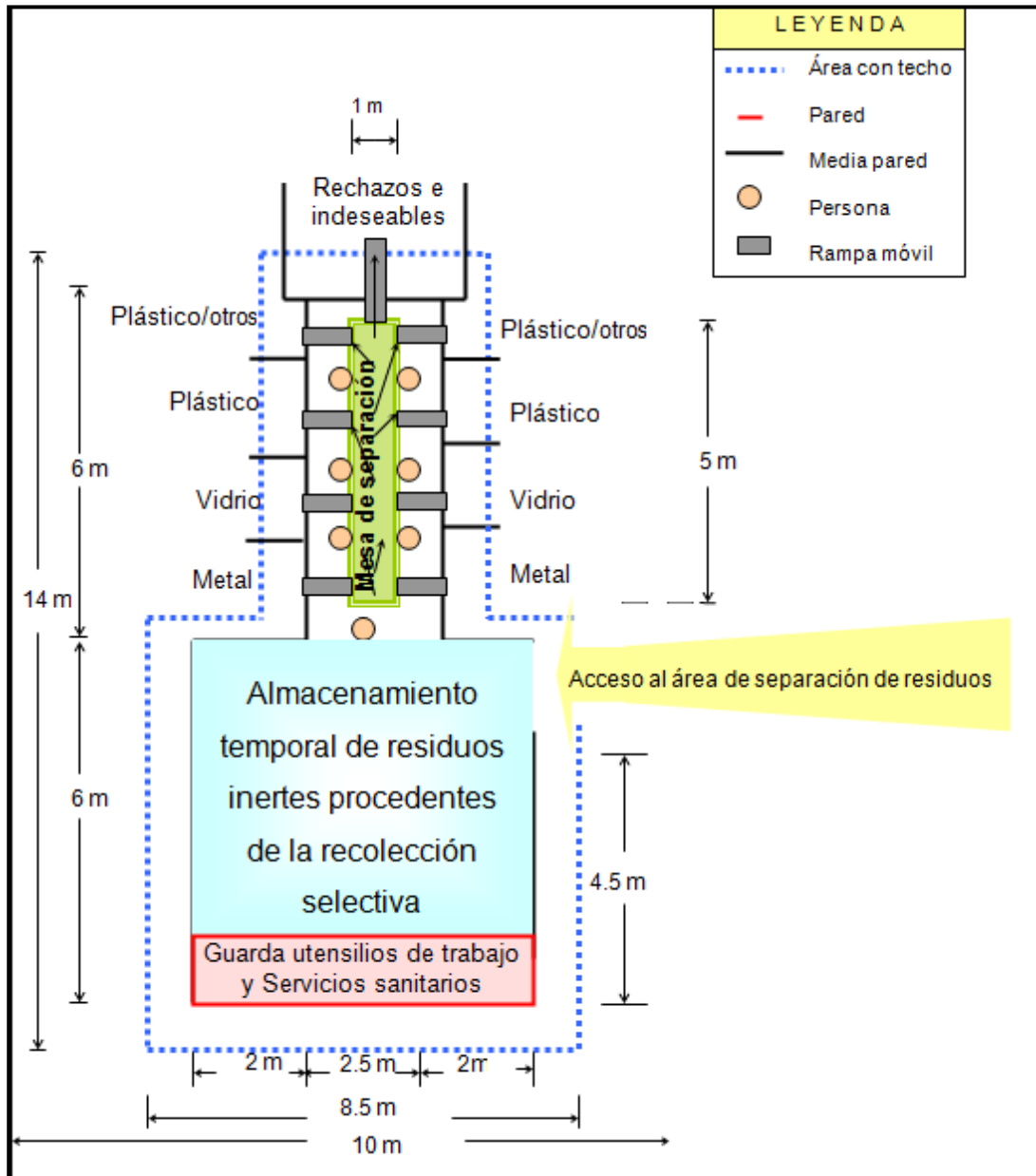


Figura 11.3. Detalle del área de separación de 5 ton diarias de residuos sólidos inertes.

- Las personas que realizan la separación se colocan en espacios de 50 cm a 1 m de ancho, frente a la mesa de separación. Los materiales se deslizan a través de rampas metálicas de 0.5 m de ancho por 1 m de largo, con bordes en los extremos de 10 cm.
- Los materiales separados caen en espacios provisionales de almacenamiento con capacidad de 2.5 m³. Dos de estos espacios se utilizan para depositar el metal, otros dos para el vidrio y cuatro para el plástico, ajustando la distribución a las necesidades.

- La mesa de separación termina en una rampa que dirige los residuos rechazados a un espacio de aproximadamente 10 m³. Es conveniente colocar contenedores para que reciban los rechazos y se facilite su carga y transporte hacia la disposición final.
 - Los materiales separados pueden colocarse en costales tejidos o en bolsas de plástico para irlos llevando al área de almacenamiento, dejando el espacio libre para otros materiales. El área de almacenamiento está compuesta por:
 - ❖ Una bodega cubierta para papel y cartón de 75 m³.
 - ❖ Dos áreas descubiertas de 9 m², una para vidrio y otra para metal.
 - ❖ Un área descubierta de 15 m² para residuos plásticos.
- e) Una báscula con capacidad e 1 a 500 kg.

Recursos humanos. El equipo de trabajo de la sección de separación y recuperación de materiales está compuesto por:

- 1 supervisor/coordinador de separación y recuperación de materiales.
- 6 a 10 obreros de separación fina (incluye 1 obrero para recepción de los mototriciclos y transferencia de materiales a la mesa de separación).
- 1 obrero encargado de las áreas recepción de materiales separados y de la pesada y transferencia de materiales a la bodega y/o espacios para materiales.

XI.3 Compostaje de residuos de cocina, jardinería y poda de árboles. La fracción orgánica composteable de los residuos municipales representa entre el 50 y 60 % en peso del total, por lo que el diseño del área de compostaje del CREMAC responde a la generación estimada de 30 a 40 ton semanales de residuos orgánicos aptos para el compostaje. Además se considera el comportamiento de la materia orgánica en el programa piloto de compostaje reportado en este documento.

El sistema de compostaje aerobio opera bajo el procedimiento que incluye las siguientes etapas, mismas que se representan en la figura 11.4:

- **Recepción:** recepción, inspección visual, pesada y descarga.
- **Pretratamiento:** trituración de la fracción vegetal, mezcla con material estructural, humectación inicial (si se requiere).
- **Tratamiento:** sistema de oxigenación y humectación, control de parámetros, descomposición y maduración.
- **Post-tratamiento:** proceso de refinación (cribado), almacenamiento, transporte y aplicación (opcional).

El área de compostaje está dividida en 9 pilas (A, A', B, B', C, C', D, D' y E). Donde las pilas A, A', B y B' miden 2 m de ancho con piso de cemento, las pilas C, C', D y D' miden 1.5 m de ancho y la pila E mide 3 m de ancho. Todas ellas separadas entre sí por un pasillo de 1 m.

Además, cuenta con un espacio para la pila de maduración de composta, una fosa para recepción y almacenamiento de lixiviados y una báscula con capacidad de 1 a 500 kg.

Recepción. El personal capacitado para el proceso de compostaje tiene a su cargo la recepción del material procedente de la recolección domiciliar, la inspección visual para aceptar o rechazar el material y llevar el control de las cantidades que recibe la instalación y en consecuencia la descarga del material, su trituración y colocación ordenada en las pilas de compostaje, las etapas de volteo y humectación, etc.

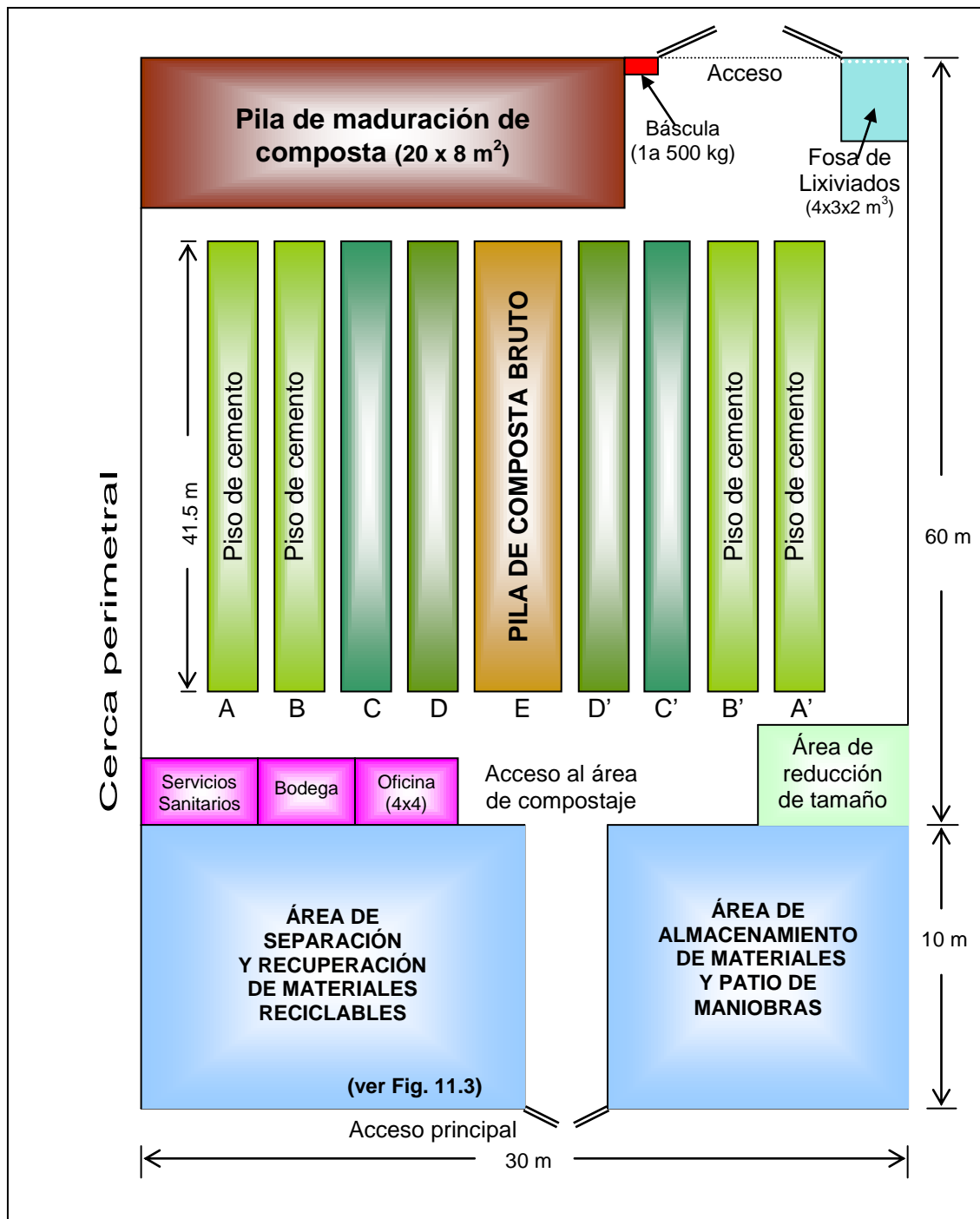


Figura 11.4. Detalle de las instalaciones para el compostaje de los residuos orgánicos

Pretratamiento. Los residuos de jardín y los procedentes de la poda de árboles comúnmente son de tamaño mayor al deseado para el compostaje y se deben triturar para aumentar el área de exposición al efecto de las bacterias. Es suficiente una picadora de campo capaz de reducir tallos de 3 cm de diámetro. Así mismo se trituran los residuos gruesos de cocina.

La mezcla de residuos orgánicos de diferentes fuentes es un factor que puede conducir a mejorar la calidad, tanto del proceso de compostaje como de la composta producida, en función de la relación carbono/nitrógeno (C/N). Si está en las manos de los gestores hacer la combinación de substratos, se presentan en la tabla XI.2 algunos materiales con las proporciones estimadas de carbono a nitrógeno.

Con el material triturado se van formando las pilas de forma piramidal de 2 m de base por 1.5 m de altura (pilas A y A'). Tomando en cuenta que la composición de los residuos orgánicos incluye residuos de cocina y residuos de jardín, es conveniente colocar primeramente una capa del material más grueso de residuos secos de jardín en el área. Ello incrementa la ventilación de la pila desde el fondo.

Tabla XI.2. Proporción de C a N para varios materiales composteables.

ALTO CONTENIDO DE NITRÓGENO	C : N
• Recorte de césped	1:19
• Lodos digeridos.	1:16
• Estiércol de vaca	1:15
• Residuos de comida	1:20
ALTO CONTENIDO DE CARBONO	C : N
• Hojas y follaje	40-80:1
• Corteza	100-130:1
• Papel	170:1
• Madera y aserrín	300-700:1

Fuente: Robb Hall, R., 1998

Posteriormente se humedece esta capa con agua con una regadera, de modo que todo el material tenga la humedad de una esponja exprimida y enseguida se coloca el material verde y consecutivamente los residuos de cocina, humedeciendo de igual manera que lo anterior. El proceso se repite hasta que esté totalmente llena la capacidad de la pila.

La pila A corresponde a la pila inicial de compostaje, la cual agota su capacidad en 15 días. Los residuos frescos recién depositados se van cubriendo con composta madura al terminar la jornada, para evitar cualquier problema de olores desagradables, y posteriormente, si se desea, con una capa de residuos frescos de jardín para evitar mal aspecto visual. Una vez terminada la pila se deja reposar durante 10 días.

La pila A' corresponde a la continuación de recepción de residuos de la pila A. Estas pilas, A y A', se ubican en los extremos del área de compostaje. Igualmente se dejan pasar 10 días después de su llenado, antes de voltearlas para formar las pilas B y B'.

En esta fase y las siguientes, cuando ya se lleva algún tiempo de aplicación del tratamiento, es recomendable agregar los subproductos del proceso (material sobrante de la cribada anterior y los lixiviados producidos para humectación de la pila).

Tratamiento. Es muy importante monitorear la temperatura diariamente y registrarla cada día. Ésta se mide a 3 profundidades diferentes insertando el termómetro hacia abajo de un lado hacia el centro de la pila. Un termómetro de 30 cm de largo es más conveniente. Después se voltea el material, mezclando todos los ingredientes, tal que la parte interior de la pila quede afuera y la exterior quede como núcleo interior, formando las pilas B y B'.

Después de voltear las capas, el manejo se reduce a la vigilancia diaria de la temperatura, color y olor, y el control periódico de la humectación. Las pilas B y B' se van formando con el material proveniente del volteo de las pilas A y A' respectivamente, se recomienda que el volteo de la pila no exceda los 5 días de operación. Así, las pilas A y A', una a una, quedan vacías y listas para la siguiente recepción de residuos.

Las nuevas pilas B y B', se dejan en reposo durante 10 días, después de los cuales, se deben voltear para formar las pilas C y C', respectivamente. Las pilas C y C' se dejan en reposo por 10 días y se voltean para conformar las pilas D y D', las cuáles reposan 10 días antes de removerlas hacia la pila E.

Finalmente la pila E, conformada con los materiales de las pilas D y D', permanece desde 10 hasta 30 días en reposo, según se acumule la composta bruto, antes de su remoción hacia la pila de maduración.

Post-tratamiento. Al término de las etapas de volteo se traslada el material al área de maduración de composta, ubicado en un extremo del área de compostaje. Ahí el material se deja por un periodo mínimo de 2 meses.

En la tabla XI.3 se observan los cambios de la pila mientras pasa de la primera etapa de degradación biológica a la segunda de formación de humus y estabilización.

Tabla XI.3. Criterios de control en el proceso de compostaje

CRITERIO	PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA
Temperatura	52 a 60°C	Marcada disminución
Humedad	60 a 80 %	Disminución notable
Color	Café/verde a amarillo	Café oscuro a negro
Olor	Mohoso	De tierra a leñoso.

Fuente: Adaptada de Donelan, P., 1994

Al terminar la segunda etapa, es decir, la etapa de estabilización, la composta producida es muestreada para evaluar su calidad.

La toma, preservación y análisis de las muestras debe asegurar la representatividad y validez de los resultados. Las muestras compuestas deben consistir por lo menos de 3 muestras individuales de igual volumen, de tal manera que sean representativas de las pilas enteras. Cada punto de muestreo debe estar a una profundidad de 60 cm desde la superficie exterior.

Debe analizarse una muestra de composta a intervalos de al menos cada 1,000 toneladas o cada 3 meses, lo que ocurra primero, para los siguientes parámetros: humedad, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, sodio, potasio, relación C/N y metales pesados (Cd, Cu, Cr, Pb, Zn y Ni).

Después de que se realizan los análisis correspondientes a cada lote de composta, es necesario separar la pila y colocarla en el área de maduración para su respectivo secado, hasta un nivel de humedad del 15 al 20 % y se continua con el siguiente paso que es el proceso de refinación; ya que el objetivo principal es de eliminar la materia orgánica que no se logró totalmente degradar y darle una forma homogénea a la composta.

El producto final puede almacenarse durante 1 año o más a niveles de humedad cercanos al 17 %. Si no se logra este nivel, la descomposición continuará y la composta entrará a la etapa de mineralización. Lo deseable es evitarlo y producir una composta con alto contenido de humedad y con un contenido de materia orgánica del 32 al 40 %.

Las personas encargadas del proceso de compostaje pueden disminuir o incrementar el número de parámetros a ser analizados y la frecuencia de análisis basándose en los datos de monitoreo, en los cambios de la corriente de residuos o las técnicas de proceso, en la efectividad de los programas de separación en la fuente o en la presencia potencial de sustancias tóxicas.

Control de lixiviados. Debido a que el riego de las pilas es un factor de control de la duración del compostaje y tomando en cuenta que este proceso genera lixiviados, se requiere un sistema de drenaje para recibirlos y reutilizarlos como agua de riego. Además se requiere una instalación hidráulica que suministre agua cuando no sean suficientes los lixiviados, además de abastecer los servicios de limpieza y sanitarios.

El sistema de gestión de lixiviados requiere que el piso de cemento de las pilas A, A', B y B' tenga un desnivel y un canal que conduzca los lixiviados a una cisterna y las pilas restantes cuenten con topes de composta maduro para la absorción de los lixiviados finales del proceso y canales de drenaje dirigidos hacia la cisterna.

El agua de la fosa de lixiviados es bombeada hacia 4 salidas aptas para mantener el control de humedad de las pilas y la prevención de incendios relacionados con la combustión accidental de los residuos. Este mismo sistema debe estar conectado al suministro municipal de agua mediante algún mecanismo de válvulas.

En días lluviosos, el exceso de agua se mezcla con los lixiviados y se conduce a la fosa de lixiviados, la que una vez llena se reboza hacia el drenaje municipal.

Clasificación y usos de la composta. Resulta adecuado clasificar la composta obtenida, cuya calidad ha sido evaluada, para dirigir convenientemente los usos posibles. Por lo que se adapta y establece la siguiente clasificación de las compostas:

- Tipo I, composta hecha solamente de residuos de jardín.
- Tipo II, composta madura hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña constituye menos o igual que 1 % en peso y la concentración de metales cae bajo el código 1 (tabla XI.4). No contiene materia extraña, tal como vidrio o residuos metálicos, de un tamaño y forma que pueda causar daño.
- Tipo III, composta madura hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña representa menos o igual que el 2 % en peso y la concentración de metales cae bajo los códigos 1 ó 2 (tabla XI.4). No contiene materia extraña, tal como vidrio o residuos metálicos, de un tamaño y forma que pueda causar daños.
- Tipo IV, composta madura hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña representa menos o igual que el 10 % en peso y la concentración de metales cae bajo los códigos 1, 2 ó 3 (tabla XI.4). No contiene materia extraña, tal como vidrio o residuos metálicos, de un tamaño y forma que pueda causar daños.
- Tipo V, composta hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña representa más del 10 % en peso y la concentración de metales es mayor que el del código 3 (tabla XI.4).

Tabla XI.4. Códigos de concentración en mg/kg (B.S.) de metales pesados en composta.

METAL	CÓDIGO 1	CÓDIGO 2	CÓDIGO 3
Arsénico	< ó = 13	> 13 – 30	> 30 – 50
Cadmio	< ó = 2.6	> 2.6 – 5	> 5 – 20
Cromo	< ó = 210	> 210 – 250	> 250 – 800
Cobalto	< ó = 26	> 26 – 50	> 50 – 300
Cobre	< ó = 100	< ó = 100	> 100 – 500
Plomo	< ó = 150	> 150 – 500	> 500 – 1000
Mercurio	< ó = 0.8	> 0.8 – 2	> 2 – 10
Molibdeno	< ó = 5	> 5 – 10	> 10 – 40
Níquel	< ó = 50	> 50 – 100	> 100 – 500
Selenio	< ó = 2	> 2.6 – 3	> 3 – 10
Zinc	< ó = 315	> 315 – 500	> 500 – 1500

Fuente: British Columbia Regulations, 1993.

De acuerdo a la clasificación anterior cada tipo de composta tiene sus aplicaciones y sus restricciones en uso, como se indica a continuación:

- ✓ La composta tipo I ó II tiene distribución sin restricciones y puede aplicarse a tierras agrícolas, en los jardines domésticos, operaciones hortícolas, parques, viveros y otros negocios que requieran un producto de alta calidad.
- ✓ La composta tipo III puede ser aplicada solamente a las tierras forestales o en parques, o en aplicaciones no alimenticias, en la industria hortícola, viveros y proyectos de remediación de suelos con potencial limitado para el contacto público.
- ✓ La composta tipo IV debe aplicarse solamente a la tierra comercial, tierra industrial, y proyectos de remediación de suelos con potencial limitado para el contacto público.
- ✓ La composta tipo V solamente debe disponerse en un relleno sanitario autorizado.

Necesidades de recursos humanos. En el área de compostaje fundamentalmente se llevan a cabo las actividades listadas, conformando el grupo de trabajo como se indica:

1 supervisor general del proceso de compostaje

2 obreros encargados de recepción y trituración del material orgánico

2 obreros encargados de la formación y control de las pilas A, A', B y B'

2 obreros encargados de la formación y control de las pilas C, C', D, D' y E

1 obrero encargado de la formación y control de la pila de maduración, mantenimiento de la fosa de lixiviados y pesada de composta para su venta.

XI.4 Vermicompostaje de residuos orgánicos de cocina y agropecuarios. Este método, a escala de residuos domésticos, es recomendable aplicarlo como un tratamiento avanzado posterior a las primeras etapas de la implantación del plan de gestión; a escala de estiércoles ganaderos es conveniente iniciarlo cuanto antes, si hay disponibilidad de ese tipo de residuos. La implantación del vermicompostaje tiene diversas variantes, entre ellas la explotación familiar y la explotación comunitaria, las cuales se exponen con el fin de ejemplificar y dar apertura a su posible implantación.

XI.4.1 Explotación familiar. A escala familiar es posible el vermicompostaje utilizando las llamadas cajas ecológicas que pueden ser de madera, con la tapa y base perforadas, de modo que permita, en unos casos, la aireación del substrato y en otros, el drenaje del agua procedente del riego. La caja ecológica se puede colocar en la cocina o en un área pequeña bajo la sombra, teniendo cuidado de los cambios ambientales.

Procedimiento. El procesamiento de desperdicios generados por la familia (residuos de cocina, jardinería o excreta de animales de patio) por acción de las lombrices se beneficia si se precompostean los residuos durante 15 días. En ese tiempo se incrementa tanto la temperatura que si se colocan las lombrices desde el primer día mueren quemadas.

En el fondo de la caja ecológica se coloca papel, cartón o periódico, de tal forma que el agua drene bien, evitando que los desechos se salgan por los lados. Se aplica una capa de 10 cm del material ya precompostado. Se aconseja sembrar las lombrices y determinar el tamaño del cajón necesario en cada hogar, dependiendo del número de personas que lo integren, de acuerdo a la tabla XI.5.

Se aplica nuevamente una capa de 5 a 10 cm del material a procesar. Se riega el medio de cultivo sin empararlo (aproximadamente 80 % de humedad). Se coloca cada 15 días otra capa de material precompostado de 15 cm.

Tabla XI.5. Guía de diseño del vermicompostaje en la zona urbana.

No. DE PERSONAS EN LA FAMILIA	CANTIDAD DE LOMBRICES (kg)	TAMAÑO DE LA CAJA (cm)
1 a 2	0,450	60 x 60 x 30
2 a 3	0,900	75 x 60 x 30
4 a 6	1.4 a 1.8	90 x 60 x 30

Después de 10 a 12 semanas se puede ver que el material se transformó y se separa con un tamiz, para aplicarlo a las plantas. Es un excelente abono y se puede vender con los vecinos. Cuando se realiza la separación se debe tener otro material precompostado, para inocular las lombrices.

XI.4.2 Explotación comunitaria. El sistema comunitario es de mayor dimensión que la caja ecológica, porque en éste se tratan todos los residuos orgánicos que se generan en una comunidad. Para ello se toman en cuenta los siguientes elementos básicos:

1. Identificación del terreno. De preferencia se utiliza un terreno plano, ligeramente inclinado. Se necesita un suelo con buen drenaje debido a que el encharcamiento puede ocasionar problemas serios en la población de lombrices. Los suelos compactos y arcillosos no son recomendables, al igual que los suelos con un alto porcentaje de piedras y arena calcárea, salina o ácida. El terreno debe de estar limpio de malezas para poder nivelarlo, una vez nivelado estará listo para el siguiente paso.

El terreno debe tener su propia fuente de agua, pues los requisitos más importantes para el desarrollo y subsistencias de las lombrices son: la oscuridad y la humedad. Por lo tanto si no hay agua no hay lombrices y tampoco habrá alimento, el agua debe ser limpia libre de contaminantes. Cuando se tenga duda de su procedencia es preferible hacer un análisis antes de su utilización. El agua es indispensable para el riego de la cama, para la preparación del alimento y para el mantenimiento de las herramientas y equipo a utilizar.

2. Diseño del proyecto. El proyecto se define de acuerdo al número de personas por comunidad, por los datos de generación de residuos en la zona de estudio y/o por la cantidad de residuos que se desean tratar por vermicompostaje (ver tabla XI.6).
3. Para el proceso continuo, se construyen cinco lechos según las dimensiones de la tabla XI.6, considerando como valores fijos la altura de 1 metro y 1.5 metros de ancho. Dos de los cuales se destinan al precompostaje de la materia orgánica y tres al proceso en sí. Se considera la construcción del almacén de humus y una bodega.
4. La figura 11.5 muestra el diseño del proyecto para una comunidad de 1,000 personas o el equivalente a una generación de 10,000 kg aproximadamente de residuos orgánicos cada 15 días, sembrando 2,500 lombrices por m².

Tabla XI.6. Diseño de vermicomposteros según la cantidad de residuos a tratar.

Generación de residuos orgánicos en 15 días	Volumen m ³	Longitud del lecho (x 1.5 m de ancho)	Lombrices requeridas
500 kg	1.5	1 m	3,500
1,000 kg	3.0	2 m	7,000
2,000 kg	6.0	4 m	14,000
3,000 kg	9.0	5 m	21,000
4,000 kg	12.0	7 m	28,000
5,000 kg	15.0	9 m	35,000
10,000 kg	30.0	18 m	70,000

- Las camas deberán limitarse con tabique, ladrillo, bloc o tablón o por algún material de bajo costo y de fácil acceso. La presencia o ausencia de material limitante de la cama está en función de las condiciones climáticas.

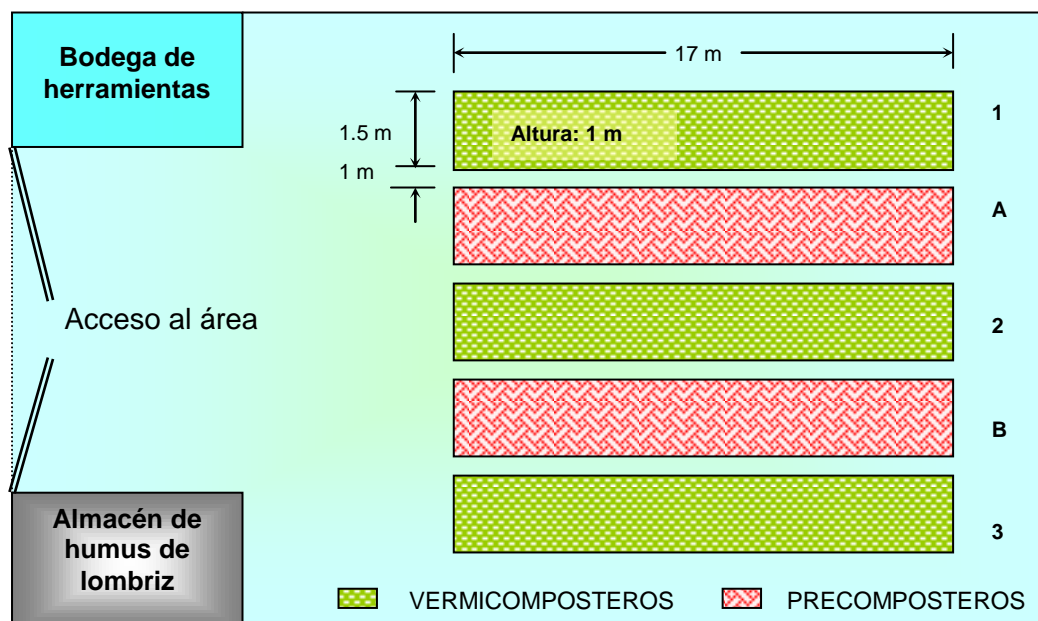


Fig. 11.5. Proyecto de vermicompostaje para una comunidad de 1,000 personas.

- La instalación del sistema de riego se establece en función del tamaño del proyecto, para una comunidad de mil habitantes se recomienda que se instale, ya que éste abarca un área de más de 100 m², pero para comunidades más pequeñas se pueden utilizar mangueras de plástico para efectuar las operaciones normales de riego.
- Los precomposteros A y B están destinados a la preparación del sustrato. Como los residuos son de composición variada se les trata adecuadamente para evitar la mortandad de las lombrices. Se controla el pH (6.8 a 7.2), la temperatura (26°C o ambiental) y la humedad (70 a 80 %). Para ello se precompostean al menos 15 días.
- Los residuos llegan diariamente al área de vermicompostaje. Estos se colocan en el lecho A del día 1 al 15 y se dejan en precompostaje del 16 al 30. Posteriormente, el día 31 se pasa todo el sustrato del lecho A al vermicompostero 1 en donde comienza el proceso de vermicompostaje, al inocular ese mismo día las lombrices.
- El proceso dura aproximadamente 45 días incluyendo el cribado y la preparación del humus para almacenamiento (las lombrices estarán reproduciéndose en un lapso no mayor de ocho días). Del día 31 al 75 se lleva a cabo el vermicompostaje del sustrato en el lecho 1 y se vuelve a llenar el lecho A del día 31 al día 45.
- El lecho B recibe residuos del día 16 al 30. El sustrato ya precompostado del lecho B se pasa al lecho 3 a partir del día 46 en donde inicia también el proceso de vermicompostaje, el cual termina el día 90. Al mismo tiempo se llena el lecho B del día 46 al 60. El material precompostado del lecho A se pasa al lecho 2 el día 61 y mientras tanto el lecho B empieza el precompostaje terminando el día 75, pasando el material al lecho 1, el cual termina su proceso el día 120 y así sucesivamente. La figura 11.6 muestra la secuencia descrita.

Necesidades de recursos humanos. La explotación comunitaria del vermicompostaje ocupa del trabajo humano como se indica a continuación:

- 1 supervisor general del proceso de vermicompostaje.
- 2 obreros encargados de recepción y cribado del material orgánico, y del precompostaje.
- 2 obreros encargados de la formación y control de los lechos de vermicompostaje.

- 1 obrero encargado de la bodega de herramientas, del almacenamiento de humus y la salida del mismo.

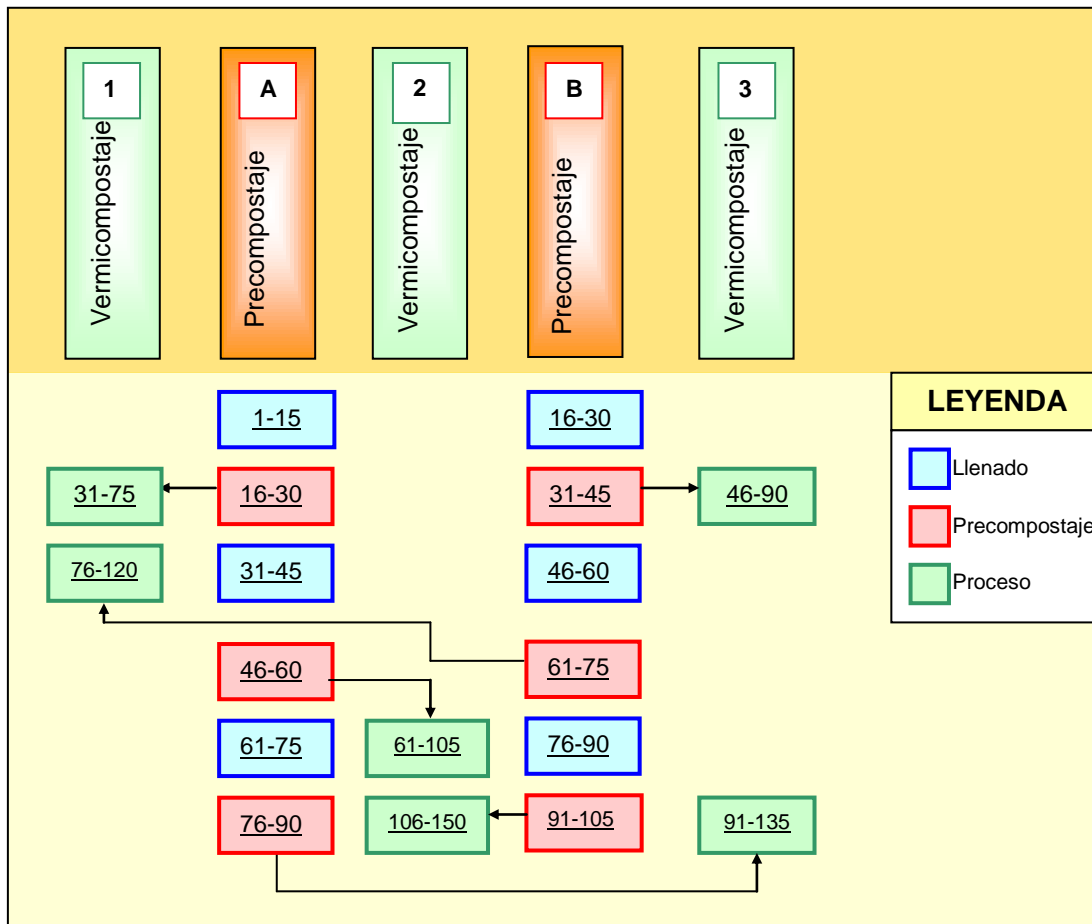


Fig. 11.6. Secuencia en días del vermicompostaje en un proceso continuo.

Actividades complementarias. El supervisor general del proceso de vermicompostaje además de la coordinación de proceso, tiene a su cargo el control de las lombrices y el control de la calidad del humus producido. Por lo que también debe coordinar las actividades y gestiones hacia el exterior, respecto a vínculos con instituciones o universidades encargadas de realizar las pruebas técnicas de calidad y las recomendaciones de uso del producto.

XI.5 Disposición final de residuos indeseables y rechazos. La disposición final de los rechazos es un punto vital para la gestión integral. El espacio de relleno sanitario se proyecta tomando en cuenta el crecimiento demográfico y las metas de recuperación de materiales establecidas a plazos definidos.

Cálculo del espacio necesario para el relleno sanitario. Las necesidades de espacio para el relleno sanitario de los rechazos y los residuos sólidos que aún no cuentan con un canal de aprovechamiento o reciclaje se calculan de la siguiente manera:

1. A partir de la generación diaria per cápita y la generación total de residuos sólidos se estima el volumen de residuos de acuerdo al peso específico de los residuos urbanos compactados a escala de relleno sanitario (ver formatos del grupo C).
2. Se construye una tabla de datos, relacionando la población actual y su crecimiento, año tras año, a partir del año 0 y hasta al menos el año 10 y la generación total de residuos sólidos urbanos, la generación de cada tipo de residuo, las metas de recuperación de materiales y las cantidades excedentes o rechazadas. Se pueden

construir varias tablas con diferentes metas de recuperación, de tal forma que se observen claramente los cambios de volumen y por lo tanto los espacios requeridos para el relleno sanitario.

3. Se toma la decisión de las metas óptimas de recuperación y reciclaje de residuos sólidos, considerando las posibilidades reales de participación ciudadana en el plan de gestión integral y las posibilidades reales de ejecutar las normativas establecidas para el cumplimiento del mismo.
4. Se toma el volumen correspondiente a la decisión del punto anterior, estimando entonces el espacio requerido para la disposición de los residuos.
5. Si la decisión no contempla la admisión de residuos orgánicos en el relleno sanitario, el espacio del relleno se aproxima al volumen total acumulado de los residuos. Sin embargo, si se contemplan volúmenes considerables de materia orgánica se hace necesario disminuir al volumen acumulado la parte concerniente a la degradación de la materia orgánica.
6. El relleno sanitario se diseña de acuerdo a un mínimo de ingeniería que contempla el control de los lixiviados y los gases de relleno. Los cuales se desglosan a continuación.

Criterios de ingeniería. La construcción de un relleno sanitario implica los siguientes criterios:

1. Tipo de terreno. El método para construir el relleno sanitario se define, entre otros parámetros, en función del tipo de terreno. Por lo que es fundamental conocer el perfil topográfico del sitio: plano, ondulado, escarpado o si es un banco de material abandonado.
2. Selección del sitio. Además de lo establecido en la normatividad aplicable, es necesario conocer al menos los siguientes parámetros:
 - a) Suelo. Potencial de infiltración del agua, potencial de transmisión del líquido percolado, capacidad de filtrado del suelo, capacidad de absorción, calidad para uso como material de cubierta.
 - b) Agua subterránea. Profundidad del manto freático, contenido de materia orgánica, capacidad de neutralización, potencial de dispersión, velocidad del agua subterránea.
 - c) Aire. Dirección y velocidad del viento dominante, ubicación de los centros de población a los que servirá el relleno con número de habitantes.
 - d) Área. La vida útil para un relleno sanitario es de 10 años como mínimo, por lo que el área se define en función de la vida útil, la topografía y la generación típica.
 - e) Otros. Vialidades en uso, Bancos de material cercanos.
3. Geohidrología. Geología del sitio, estratigrafía.
4. Estudios de suelos y mecánica de suelos.
5. Estudios topográficos. El estudio adecuado de las características básicas de la generación esperada y del sitio que se pretenda destinar a la disposición de los residuos, proporciona las variables necesarias para el diseño del relleno sanitario. Este diseño deberá contener especificaciones constructivas sobre:

Capas y celdas, método de relleno, características del recubrimiento, vialidades requeridas, criterios de operación, captación y uso del biogás, impermeabilización o control de lixiviados, monitoreo, estudio curva masa y obras complementarias.

Requisitos administrativos. Los requisitos mínimos que se deben exigir por parte de la administración para la autorización de instalación de un relleno sanitario son:

1. Justificación del sistema de tratamiento elegido entre otras alternativas.

2. Idoneidad de la localización prevista desde el punto de vista económico, social, medioambiental y urbanístico.
3. Distancia del relleno sanitario a núcleos urbanos teniendo en cuenta las previsiones del desarrollo humano.
4. Disponibilidad de los terrenos a emplear y relación de propietarios afectados.
5. Estudio geotécnico e hidrogeológico del lugar de localización y de las acciones a desarrollar con el fin de evitar posibles contaminaciones del subsuelo y sus recursos.
6. Estudio meteorológico completo que comprenda, el estudio pluviométrico de la zona, régimen de vientos, temperatura, humedad, etc.
7. Estudio del adecuado drenaje de la zona, con los requisitos siguientes:
 - ♦ Impermeabilización del lecho.
 - ♦ Recolección y canalización de las aguas de lluvia y escorrentía, tendiendo a impedir que las mismas entren en contacto con la masa vertida.
 - ♦ Recolección y canalización de lixiviados producidos por la humedad de los residuos o por las aguas de lluvia que los atraviesa, controlado a través de pozos y tratamiento de los mismos de acuerdo con las normas vigentes de descargas acuosas a cauces públicos.
8. Estudio de la problemática del transporte de residuos.
9. Programa de explotación del relleno sanitario.
10. Relación de los tipos de residuos que se admitirán en el relleno sanitario a construir definiéndose, en su caso, por las actividades que los originen y las mezclas de diversos tipos de residuos que pueda admitir.
11. Descripción del proceso de disposición de los residuos con indicación de las operaciones unitarias que comprende. Se requerirá un estudio de recuperación de materiales en aquellos rellenos sanitarios de capacidad superior a 100 Ton/día.
12. Estudio sobre la capacidad total y diaria de recepción de residuos, incluyendo consideraciones sobre la vida útil del relleno sanitario.
13. Descripción del cercado natural, o artificial que en todo su perímetro deberá existir a fin de impedir el libre acceso al mismo.
14. Plan de creación de una pantalla vegetal con fines estéticos y con objeto de evitar la acción de los vientos sobre los materiales finos o ligeros.
15. Estudio sobre el destino de los terrenos una vez agotada la capacidad del relleno sanitario o abandonada su explotación, y estudio de la recuperación paisajística del terreno.
16. Plano geográfico de situación a escala 1:25,000.
17. Plano de emplazamiento a escala 1:10,000 ó en su defecto, 1:5,000.
18. Plano taquimétrico con las curvas de nivel del estado inicial y situación final futura, con detalle de las instalaciones fijas que se proyecten.
19. Plano de las secciones longitudinales y transversales del terreno con las cotas antes de iniciarse el relleno y una vez finalizado el mismo.
20. Plano de las secciones longitudinales y transversales de los caminos para su correcta explotación. Se debe exigir también que se cumplan en las fases de explotación y reutilización los siguientes requisitos:
 - a) Preparar convenientemente el lecho del relleno para conseguir su impermeabilidad.
 - b) Colocar un mínimo de tres puntos altimétricos de referencia, para facilitar la medición del llenado del relleno sanitario.
 - c) Prever la eliminación inocua de los gases emanados del relleno sanitario.
 - d) Evitar cualquier deslizamiento del material depositado o del terreno.
 - e) Tener prevista tierra de cobertura para la extinción de pequeños incendios. Prever extintores de fuego manuales.
 - f) Los niveles de ruido no deben sobrepasar los 60 dB(A) en las zonas industriales o rurales adyacentes ni superar en las viviendas afectadas los 40 dB(A) hasta las 22 horas o los 33 dB(A) hasta las 8 de la mañana en nivel continuo equivalente Leq,

en 1 minuto, ni los 45 y 35 dB(A) en valores máximos en punta en los dormitorios, cocinas y salas de espera a partir de las 8 y 22 horas respectivamente, sin perjuicio de la normativa municipal específica existente.

- g) Proveer una instalación de limpieza de neumáticos, que evite el ensuciamiento por camiones de las carreteras circundantes.
- h) Si no se ha previsto alguna utilización especial del terreno, efectuar una reforestación.
- i) Los edificios e instalaciones, una vez que ya no se utilicen, deberán eliminarse.
- j) Después de la repoblación vegetal el gestor tiene que observar las siguientes medidas, al menos durante los 5 años siguientes:

- Control de las conducciones, transporte y tratamiento del agua lixiviada.
- Control del asentamiento de las canalizaciones de las aguas de escorrentía.
- Reparación de los deslizamientos y realización de las replantaciones necesarias.
- Control de las aguas subterráneas y del gas emanado en el relleno sanitario.

FORMATOS GRUPO A. GUÍA DE DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DE RSU

El siguiente cuestionario presenta la mayoría de opciones que dan oportunidad de conocer la gestión de los residuos sólidos en un área de servicio. La aplicación de las encuestas se hace por separado, de acuerdo al giro municipal, empresarial o industrial que se esté tratando. Es necesario que al momento de reproducir el formato se hagan las modificaciones pertinentes y se dejen los espacios correspondientes a las respuestas esperadas. La evaluación de las respuestas requiere ser efectuada por personal con experiencia en el ámbito de la gestión de los residuos sólidos municipales.

I. DATOS DE LA LOCALIDAD O ÁREA QUE RECIBE EL SERVICIO.

1. Nombre, Departamento y Provincia.
2. Población e índice de crecimiento de la localidad (indicar la fuente del dato y el año).
3. Índice de crecimiento y densidad de población por zonas de la localidad.
4. Actividades predominantes de la población.
5. Aspectos que se contemplan para la regulación del crecimiento industrial, agrícola, residencial, comercial, etc.
6. Características climáticas del área de servicio.
7. Planos de la localidad que muestren:
 - Plan regulador de la localidad.
 - Demarcación de las distintas zonas (residencial, comercial e industrial).
 - Calles afirmadas (pavimento, hormigón, empedrado).
 - Actual extensión prevista.
 - Sentido de circulación de calles y avenidas.
 - Calles cortadas por vías férreas, arroyos, etc. Señalar puentes y/o barreras.
 - Topografía de la ciudad (elevaciones, ríos, arroyos, depresiones, etc.).

II. ORGANIZACIÓN DEL SERVICIO

Marco Administrativo.

1. ¿El servicio es prestado por parte del municipio, por una mancomunidad o empresa intermunicipal o es contratado, etc.?
2. Indicar la empresa si el servicio es contratado, y la constitución del capital.
3. ¿Si es una organización intermunicipal, cómo funciona (ente autónomo, dependencia administrativa de un municipio, consorcio intermunicipal, etc.)?
4. ¿Cuál es la ubicación de los servicios de Recolección y disposición de residuos sólidos municipales dentro del organigrama de servicios públicos?
5. ¿Cuál es la organización técnico administrativa de los servicios de eliminación de residuos sólidos (anexar organigrama e indicar funciones), y si es una empresa, la base jurídica de su formación?
6. ¿Cómo se realiza el control de la prestación del servicio?
7. ¿Cómo se adiestra previamente al personal encargado del trabajo?
8. ¿Cómo se adiestra al personal durante el desarrollo del trabajo?
9. ¿Qué tipo de tareas de investigación se realizan?
10. ¿Qué organismos asesoran para el cumplimiento de las funciones?

Normatividad.

11. ¿Qué normatividad constitucional nacional y local (general, técnica y administrativa) rige el saneamiento y la gestión de los residuos sólidos?

Personal técnico y administrativo.

12. ¿Cuenta con manual de organización?
13. ¿Qué funciones detalla el manual (planeación, Financiamiento, administración, operación, otras)?
14. ¿Cuántos técnicos participan y que especialización tienen?
15. ¿Cuántos administrativos participan y que especialización tienen?
16. ¿Con cuáles organismos existe coordinación respecto a la gestión de residuos sólidos (transporte y urbanización, planificación, medio ambiente, agricultura y ganadería, etc.)?

Financiamiento.

17. ¿Cuál es el costo de la prestación del servicio? (detallar salarios, costo del equipo y mantenimiento del mismo, gastos por programas de concienciación, costo de la operación y mantenimiento del vertedero, etc.).
18. ¿Cuál es la política tarifaria del servicio de gestión de residuos sólidos municipales?
19. ¿Cómo afronta la administración municipal los gastos de la gestión (tasas, impuestos, multas, créditos, subvenciones nacionales, provinciales, etc.)?
20. ¿Si la prestación del servicio es contratada, cómo se paga la recolección?
21. ¿Cuál es la tarifa de la disposición de residuos?
22. ¿Cuáles son los controles técnicos, administrativo y financieros de la prestación del servicio (municipal o contratada)?
23. ¿Qué otras formas de Financiamiento del servicio existen (nacional, internacional, etc.)?

Universidades e instituciones de educación e investigación.

24. ¿Qué funciones cumplen con respecto a la limpieza urbana (estudios especiales, adiestramiento, investigación, etc.)?
25. ¿Cómo se vinculan los prestadores del servicio con las universidades e instituciones educativas (convenios, acuerdos, etc.)?

III. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Recolección de residuos domiciliarios.

1. ¿Qué sistemas de recolección de residuos domiciliarios existen en la zona de servicio (uso de contenedores con o sin selección, recolección selectiva con separación en la fuente, recolección selectiva centralizada, etc.)?
2. ¿Cuál es la cantidad de residuos domiciliarios (m³/día y/o ton/día) recolectados diariamente en la localidad?
3. ¿Qué porcentaje de la población cuenta con servicio de recolección de residuos domiciliarios?
4. ¿Qué ordenanzas existen sobre la circulación en calles de tierra durante días de lluvia y subsiguientes?
5. ¿Cuál es la frecuencia actual del servicio de recolección?
6. Mostrar por medio de planos el área con servicios de recolección y por tipo de recolección.
7. Número y características de los vehículos recolectores (tipo de camión compactador, tipo de camión abierto, triciclos, etc.).
8. Personal a cargo del servicio (conductores, cargadores, recogedores domiciliarios, etc.).

Limpieza y barrido de calles.

9. ¿Cuál es la cantidad de residuos m³/día y/o ton/día provenientes de limpieza de calles y barrido?

10. ¿Cuál es el porcentaje de la población con servicio de barrido de calles?
11. ¿Qué servicios se cumplen en la vía pública de responsabilidad del organismo municipal de limpieza?
12. ¿Cuál es la frecuencia del servicio de barrido?
13. Mostrar por medio de planos el área de servicio de barrido de calles, actual y prevista.
14. ¿Cómo es el servicio de barrido y limpieza de calles (municipal, contratado o mixto)?
15. Indicar el número de barredoras mecánicas, marca, modelo, estado de conservación, número de veces que cada equipo descarga y forma de traslado hasta el lugar de disposición final.
16. Indicar el número de calles barridas con el sistema mecánico.
17. Indicar el número de calles barridas con el sistema manual.
18. Indicar el número de calles barridas por cada barrendero y el número de barrenderos.
19. Indicar las características de los implementos utilizados.
20. Cantidad de camiones para recoger los montos y la dotación de cada camión.
21. Si el barrido es contratado, adjuntar pliego de condiciones.
22. ¿Cuál es el sistema de control de este tipo de servicio?

Recolección de residuos industriales y/o especiales.

23. ¿Qué ordenanzas, decretos y/o disposiciones rigen el almacenamiento, el transporte y la disposición final de los residuos industriales y/o especiales.
24. ¿El municipio se encarga del transporte de los residuos industriales?
25. Indicar la cantidad de residuos (m³ o ton) y periodicidad de recolección provenientes de:

Ferias y mercados
Residuos industriales
Otros (detallar)

Hospitales y centros asistenciales
Residuos comerciales

Impacto ambiental y en la salud de la recolección de residuos.

26. ¿Cuáles son los principales problemas ambientales y en la salud de los trabajadores y de la población producidos por los sistemas actuales de recolección y transporte de los residuos sólidos?
27. ¿Qué metodología se sigue para detectar y evaluar los problemas ambientales y en la salud existentes por causas del almacenamiento, recolección y transporte de residuos?
28. ¿Cuáles son las acciones que ejecutan los responsables del servicio para mitigar o eliminar las causas que originan tales problemas?

IV. DESVIACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

1. ¿Cuáles son los métodos actualmente en uso en la localidad para la desviación de los residuos sólidos y cuáles son las expectativas futuras?
 - Separación y recuperación de materiales, compostaje, incineración, otros (explicar).
2. ¿Cuáles son los métodos actualmente en uso de la localidad para la disposición final de los residuos sólidos y cuáles son las expectativas futuras?
 - Tiraderos a cielo abierto, relleno sanitario, otros (explicar).

Separación y recuperación de materiales.

3. ¿Qué sistemas existen para la recuperación de materiales reciclables o reutilizables?

4. ¿Qué políticas existen respecto a la recuperación de materiales?
5. ¿Qué cantidades de materiales se segregan de la corriente de residuos sólidos municipales y que proporción representan del total?
6. ¿Cómo está organizado el sistema de recuperación o segregación de materiales?
7. ¿Cuántas personas y/o empresas participan en la recuperación de materiales y qué relación mantienen con la administración municipal, intermunicipal o empresarial?
8. ¿Cuál es el destino de los materiales recuperados?
9. ¿Cuál es el tipo y cantidad de dichos materiales?
10. ¿Cuál es la forma de comercialización?

Estabilización biológica (compostaje).

11. ¿Cuál es el método de compostaje?
12. ¿Cuál es la superficie del terreno utilizado?
13. ¿Qué obras de infraestructura se han montado (caminos de acceso, material de cubierta, oficina para control, etc.)?
14. ¿Si hay trituración de basura, indicar el tipo de equipo y el tamaño final de partícula?
15. ¿Cuál es el tamaño de la pila o fila de compostaje?
16. ¿Qué cantidad de basura se emplea en cada pila?
17. ¿Cuánto es la producción de composta y cuál es su destino?
18. ¿Qué controles se llevan a cabo en el proceso de compostaje?
19. ¿Cuánto es el costo por ton de material estabilizado?

Incineración (residuos sólidos domiciliarios).

20. Ubicar en un plano los incineradores y los respectivos caminos de acceso.
21. Describir someramente el proceso de incineración, año de construcción y de puesta en marcha.
22. ¿Cuál es la capacidad real de las incineradoras? (ton/día)
23. ¿Cuál es la composición de los residuos sólidos y su poder calorífico?
24. Indicar las funciones del personal de dirección, operación y mantenimiento.
25. ¿Qué sistema de control de emisiones gaseosas existen?
26. ¿Cuál es el resultado de las últimas mediciones efectuadas sobre la emisión?
27. ¿Qué cantidad de residuos resultan de la combustión?
28. ¿Cuál es la reducción del material quemado?
29. ¿Cuál es el destino final de los residuos resultantes de la combustión?
30. ¿Cuáles son los materiales recuperados durante el proceso?
31. ¿Qué sistema de comercialización se emplea?

Relleno Sanitario.

32. Ubicar en un plano el o los vertederos controlados y los caminos de acceso.
33. Describir someramente las características topográficas de la región en general y de la zona de vertido, en particular.
34. Indicar los tipos de suelos de la zona de vertido (capa vegetal, arenoso, arcilloso, etc.)
35. Precisar la profundidad de la capa freática en la zona de vertido.
36. Indicar la fecha de iniciación de los trabajos de vertido.
37. ¿Cuál ha sido la superficie rellenada hasta la fecha?
38. ¿Qué cantidad de residuos sólidos se ha dispuesto desde el inicio de los trabajos?
39. ¿Qué tipo de controles de contaminación de agua subterránea y superficial se efectúan, con qué frecuencia y con qué equipo?
40. ¿Qué inconvenientes se han presentado en la tareas de organización administrativa, operación y control del vertedero?
41. ¿Qué restricciones técnicas existen para la recepción de residuos sólidos?

Impacto ambiental y en la salud de los tratamientos de desviación y disposición final de los residuos sólidos.

42. ¿Cuáles son los principales problemas ambientales y en la salud de los trabajadores y de la población producidos por los métodos actuales de desviación y disposición final de los residuos sólidos? (explicar para cada método aplicado).
43. ¿Qué metodología se sigue para detectar y evaluar los problemas de la pregunta 42?
44. ¿Qué enfermedades se tienen reportadas como generadas por procesos infecciosos derivados de la gestión de los residuos sólidos?
45. ¿Cuáles son las acciones que ejecutan los responsables del servicio para mitigar o eliminar las causas que originan tales problemas?

V. RESIDUOS SÓLIDOS ESPECIALES HOSPITALARIOS

Datos generales del establecimiento.

1. Nombre, Ubicación, Dirección, Localidad y Provincia.
2. ¿Cuál es la jurisdicción administrativa? (nacional, provincial, municipal, regional, otra).
3. ¿Qué servicios asistenciales se prestan? (internación, laboratorio, traumatología, cirugía, maternidad, clínica externa, farmacia, etc.).

Generación y recolección de residuos.

4. ¿Qué cantidad de residuos sólidos se genera por limpieza, cenizas (kg/día) u otros?
5. ¿Qué metodología de gestión de residuos hospitalarios utiliza y bajo que normatividad?
6. Especificar la clasificación que se realiza de los residuos hospitalarios.
7. ¿Cómo se almacenan los residuos hasta su eliminación o retiro? (en local cerrado, al aire libre, otras formas).
8. Especificar las características de los recipientes utilizados para depositar los residuos sólidos (cantidad, material, tamaño, con tapa).
9. ¿Cómo se retiran los residuos y/o cenizas y con que periodicidad? (con camiones municipales, en camiones privados, otras formas)

Tratamiento y/o disposición de los residuos.

10. Si se cuenta con horno incinerador, explicar las condiciones de funcionamiento.
11. ¿El personal que opera el horno es especializado?
12. Indicar las condiciones físicas del horno (ladrillos comunes, ladrillos refractarios, parrillas, conductos de humo, etc).
13. ¿Cómo es el sistema de carga? (por puerta o por conducto).
14. ¿Cómo se produce la combustión? (con los residuos, a leña, con quemadores).
15. ¿Cuál es el estado de los quemadores y que combustible se utiliza?
16. ¿Qué otros sistemas de tratamiento de residuos hospitalarios emplea? Explicar.
17. ¿Existen trituradoras de residuos en la cocina, en el laboratorio, en quirófanos, etc.?
18. ¿Existen compactadoras de residuos en cocina, en el laboratorio, en quirófanos, etc.?
19. ¿Se entierran residuos en el establecimiento?
20. ¿Qué residuos se comercializan o se destinan al aprovechamiento?

Impacto ambiental y en la salud producido por la gestión de los residuos hospitalarios.

21. ¿Cuáles son los principales problemas ambientales y en la salud generados por la gestión actual de los residuos hospitalarios? (explicar para cada alternativa aplicada).
22. ¿Qué metodología se sigue para detectar y evaluar los problemas generados por cada alternativa?

23. ¿Cuáles son las acciones que ejecutan los responsables del servicio para mitigar o eliminar las causas que originan tales problemas?

VI. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Datos generales del establecimiento.

1. Nombre, Ubicación, Dirección, Localidad y Provincia.
2. ¿Cuál es la jurisdicción administrativa? (nacional, provincial, municipal, mutual, regional, estatal, gobernación, otra).
3. ¿A qué giro industrial pertenece? (química, petroquímica, alimentos, agroindustria, fertilizantes, extractiva, metalúrgica, etc.).

Generación y Recolección de residuos.

4. ¿Qué cantidad de residuos sólidos se genera por proceso, limpieza, (kg/día) u otros?
5. ¿Qué metodología de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos utiliza?
6. ¿Bajo qué normatividad se rige?
7. ¿Se lleva a cabo la separación de residuos peligrosos y no peligrosos?
8. ¿Cómo se almacenan los residuos hasta su eliminación o retiro? (en local cerrado, al aire libre, otras formas).
9. Especificar las características de los recipientes utilizados para depositar los residuos sólidos (cantidad, material, tamaño, con tapa).
10. ¿Cómo se retiran los residuos y/o cenizas y con qué periodicidad? (con camiones municipales, en camiones privados, otras formas).

Tratamiento y/o disposición de los residuos.

11. ¿Cuál es el destino de los residuos generados, por tipo y/o características?
12. Si se cuenta con horno incinerador, explicar las condiciones de funcionamiento.
13. Indicar las condiciones físicas del horno (ladrillos comunes, ladrillos refractarios, parrillas, conductos de humo, etc).
14. ¿Cómo es el sistema de carga? (por puerta o por conducto).
15. ¿Cómo se produce la combustión? (con los residuos, a leña, con quemadores, etc.).
16. ¿Cuál es el estado de los quemadores?
17. ¿Qué combustible se usa?
18. ¿Existen trituradoras de residuos en la cocina, en el laboratorio, en talleres, etc.?
19. ¿Existen compactadoras de residuos en cocina, en el laboratorio, en talleres, etc.?
20. ¿Se entierran residuos en el establecimiento?
21. ¿Qué actividades de recuperación y/o reciclaje se realizan en la empresa?
22. ¿Qué residuos se comercializan o se destinan al aprovechamiento?
23. ¿Cómo participa con la comunidad respecto a la gestión de residuos sólidos?

Impacto ambiental y en la salud producido por la gestión de los residuos industriales.

24. ¿Cuáles son los principales problemas ambientales y en la salud generados por la gestión actual de los residuos industriales? (explicar para cada alternativa aplicada).
25. ¿Qué metodología se sigue para detectar y evaluar los problemas generados por cada alternativa?
26. ¿Cuáles son las acciones que ejecutan los responsables del servicio para mitigar o eliminar las causas que originan tales problemas?

VII. OTROS RESIDUOS

RESIDUOS PORTUARIOS.

FORMATOS GRUPO B.

FORMATO B.1 Encuesta sobre características de las colonias o barrios de muestreo.

Colonia o Barrio: _____ Calle: _____ Casa No. _____ Fecha: _____

1. ¿Cuántas personas habitan en la vivienda?: _____
2. ¿En que nivel coloca el ingreso familiar?: BAJO () MEDIO () ALTO ()
3. ¿Qué características presenta la vivienda?
 - Material: mampostería () techo de lamina () barro y palma () otros: _____
 - Vivienda: sola () multifamiliar o condominio () vecindario ()
 - Patio: pequeño () amplio () área verde () arboles ()
4. ¿Qué tipo de animales y cuántos existen en el espacio de la vivienda?

Perros: ___ gatos: ___ aves canoras: ___ aves de corral: ___ cerdos: ___ otros: _____
5. ¿Qué aspectos del mejoramiento ambiental le interesan?

6. ¿Realizan alguna forma de separación de los residuos? ¿Cuál?

7. ¿Cómo llevan a cabo en su casa el almacenamiento de los residuos sólidos y qué tipo de contenedores, recipientes o bolsas utiliza para almacenarlos?

8. ¿Qué espacio utiliza y/o tiene disponible para el almacenamiento de los residuos?

9. ¿Qué método prefiere para deshacerse de los residuos? (camión, recogedor domiciliario, llevarlos al vertedero, puntos limpios, centros de acopio, etc.).

10. ¿Qué distancia considera adecuada desde su casa para depositar los residuos seleccionados en bolsas?

11. ¿Acostumbra aportar alguna cantidad económica al recogedor de residuos sólidos? ¿Cuánto? _____
12. ¿Cómo le gustaría que se gestionaran los residuos sólidos domésticos?

13. ¿Está dispuesto a participar en un programa de separación de residuos en casa y Recolección selectiva? SI () NO ()
14. ¿Permitiría la instalación de un centro de recuperación de materiales y compostaje cercano a su colonia? SI () NO ()
15. ¿Confía en que la participación ciudadana es el eje de cualquier programa de mejoramiento ambiental? SI () NO ()

FORMATO B.3 Guía de cálculo de la generación de residuos por habitante y por día.

1. Se construye una tabla por cada colonia o barrio muestreado como la siguiente, con la que se calcula la generación promedio de residuos sólidos por habitante y por día de la colonia o barrio en estudio.

Tabla A. Peso total de RS de la colonia X y cálculo de la generación por persona

Semana	Días de muestreo	Días de Generación	Peso total de RS (kg)	Población participante	Prom. de Hab/día	Generación kg/hab/día
1						
2						
3						
TOTAL						Promedio

Donde;

Semana: No. de semana de muestreo.

Días de muestreo: No. de días que se efectuó la Recolección selectiva durante la semana.

Días de Generación: No. de días que se acumulan los residuos antes de la Recolección.

Peso total de RS: Peso en kg obtenido en la pesada de los residuos recogidos.

Población participante: Suma de los habitantes de las casas que entregan residuos por cada día de Recolección.

Prom. de Hab/día: Promedio de personas participantes por día de Recolección = Población participante dividida entre los días de Recolección.

Kg/hab/día: Generación de residuos en kg por habitante por día = Peso total de residuos dividido entre el promedio de habitantes por día de Recolección y entre el número de días de generación.

NOTA: El promedio final de generación por habitante y por día debe coincidir calculado de forma horizontal o promediando los tres valores de la columna.

2. La estimación global de la generación de residuos por persona por día en la zona urbana de interés se obtiene considerando a toda la población y las características generales de todas las colonias, de acuerdo a los datos censales y a los reconocimientos visuales efectuados a propósito de identificación. Para ello se construye una tabla como la siguiente:

Tabla B. Generación promedio de residuos sólidos

COLONIAS TIPO:	POBLACIÓN QUE REPRESENTA	FRACCIÓN (%) POBLACIONAL	RSD kg/Hab/día	RSD kg/día
A				
B				
C				
D				
TOTAL				

Donde;

- Colonias tipo: Corresponde a la clasificación establecida de las colonias o barrios de la urbanización por sus características socioeconómicas.
- Población que representa: Es el número de habitantes que habita el total de colonias o barrios del tipo establecido. Se obtiene por datos censales.
- Fracción (%) Poblacional: Es la proporción porcentual de los habitantes de las áreas urbanas por tipo de colonia respecto al total de la población de interés (se utiliza en el punto 4).
- RSD kg/Hab/día: Generación de residuos sólidos por colonia o barrio, obtenida en el punto 1.
- RSD kg/día: Es la generación de residuos sólidos producida por el total de habitantes de las colonias del tipo correspondiente, cuya suma es el total de residuos sólidos generados en la urbanización de estudio.

3. La generación ponderada de residuos sólidos de la urbanización se calcula con los datos de la tabla B, de la siguiente manera:

$$\text{RSD (kg/hab/día)} = (\text{Generación total de RSD en kg/día}) / \text{Población total}$$

4. Cálculo de la generación promedio por persona, por día y por tipo de residuo. Los residuos recogidos en cada colonia se separan por tipo de residuo. Es decir, se hace una separación más fina considerando la clasificación establecida en la tabla C. Inclusive puede llegarse a una separación específica de los plásticos, si así se desea.

Los pesos recabados a partir de la Recolección selectiva de los residuos en las bolsas de colores y atados permiten cuantificar el tipo de residuo generado. Se crea la tabla C con los pesos y porcentajes correspondientes de los residuos separados en cada colonia o barrio de muestreo.

Tabla C. Peso y fracción porcentual por tipo de residuos recogidos por colonia

TIPO DE RESIDUO	A		B		C		D	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Comida y jardín								
Vidrio								
Metal								
Papel y cartón								
Plástico*								
Tetrapack								
Tela								
Indeseables								
Otros								
Total								

*Esta lista se amplía si se clasifican los plásticos de acuerdo a su tipo.

Se construye la tabla D para obtener la generación porcentual promedio de residuos sólidos por tipo, tomando como base los resultados de la tabla C. La generación

porcentual promedio se afecta por las fracciones que corresponden a la población de cada tipo de colonia con respecto al total (% Poblacional de la tabla B).

Tabla D. Clasificación porcentual promedio de los residuos generados

RESIDUO SÓLIDO	GENERACIÓN PORCENTUAL DE RS CLASIFICADO POR COLONIA				GENERACIÓN PROMEDIO POR TIPO DE RS* (%)
	% A	% B	% C	% D	
Comida/jardín					
Vidrio					
Metal					
Papel/cartón					
Plástico					
Tetrapack					
Tela					
Rechazos					
Otros					
% Poblacional	% P _A	% P _B	% P _C	% P _D	100

*Generación porcentual promedio por tipo de residuo sólido:

$$\% \text{ Tipo RS} = [(\% A \times \% P_A) + (\% B \times \% P_B) + (\% C \times \% P_C) + (\% D \times \% P_D)] / 100$$

Donde: % P_A, % P_B, % P_C y % P_D provienen de la tabla B.

FORMATOS GRUPO C.

PROYECCIONES SOBRE LA DEMANDA FUTURA DE ESPACIO DE RELLENO SANITARIO.

1. La tabla E se construye para determinar la demanda actual y futura de disposición final de cada uno de los componentes de los residuos sólidos municipales (RS 1, RS 2, RS 3, RS 4, RS 5, y así sucesivamente, inclusive los rechazos). Ésta se repite para cada uno de los residuos generados, retomando la generación de residuos calculada en los formatos anteriores. La masa de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario se transforma a m^3 utilizando los valores del peso específico de los RSU de medianamente compactados a bien compactados (0,451 a 0,600 ton/m^3). Las demandas de relleno sanitario anuales se suman para conocer la demanda total en un tiempo dado, para cada residuo y para los residuos rechazados o no contemplados como recuperables o reciclables.
2. La tabla F es similar a la serie de tablas E, con la particularidad que se construye para los residuos orgánicos biodegradables, los cuales disminuyen significativamente su volumen con el paso del tiempo. Para ello se toman en cuenta los valores obtenidos en el programa de evaluación del compostaje XI.3. Del cual se tiene información de la reducción de volumen, volumen remanente por la biodegradación y el peso específico promedio de los materiales orgánicos, o en su defecto se obtiene de fuentes bibliográficas.

Hay que estar consciente de que la materia orgánica en las condiciones del relleno sanitario se degrada mucho más lentamente que en las condiciones aerobias del compostaje, por lo que es pertinente considerar sólo un 50 % de volumen remanente, por la pérdida de agua y el efecto de la compactación. El peso específico de los RSO frescos, triturados y medianamente compactados, del programa de evaluación, es de 0.627 ton/m^3 .

3. La tabla G resume los volúmenes acumulados de todos los componentes de la corriente total de residuos sólidos municipales recogidos y cuyo destino es el relleno sanitario.

El llenado de las tablas E a la G sigue una secuencia de cálculo de porcentajes y conversiones de masa a volumen. Las unidades deben ser congruentes entre sí.

TABLA E. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE RELLENO SANITARIO PARA CADA RESIDUO SÓLIDO NO BIODEGRADABLE O POCO BIODEGRADABLE

POBLACIÓN TOTAL:	PESO ESPECÍFICO DEL RS EN EL RELLENO
TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL:	
GENERACIÓN DE RSU/HAB DIA DEL AÑO 0:	SANITARIO O COMPACTADO (ton/m ³):
	VOLUMEN FINAL ACUMULADO EN ____ AÑOS (m ³):

AÑO	GENERACIÓN RSU (ton)	FRACCIÓN DEL RS (%)	GENERACIÓN DEL RS (ton)	META (%) DE RECUPERACIÓN	RECUPERACIÓN DEL RS (ton)	RS (ton) A VERTER	VOLUMEN A VERTER (m ³)	VOLUMEN (m ³) ACUMULADO
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

RS: RESIDUO SÓLIDO ESPECÍFICO

TABLA F. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE RELLENO SANITARIO PARA RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES (RSO)

POBLACIÓN TOTAL:	PESO ESPECÍFICO DE RSO EN EL RELLENO SANITARIO (ton/m ³):
TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL:	VOLUMEN REMANENTE POR DEGRADACIÓN (%):
GENERACIÓN DE RSU/HAB DIA DEL AÑO 0:	VOLUMEN ACUMULADO EN ____ AÑOS (m ³):

AÑO	GENERACIÓN RSU (ton)	FRACCIÓN DE RSO (%)	GENERACIÓN DE RSO (ton)	META (%) DE RECUPERACIÓN	RECUPERACIÓN DE RSO (ton)	RSO (ton) A VERTER	VOLUMEN A VERTER (m ³)	VOLUMEN (m ³) DEGRADADO	VOLUMEN (m ³) ACUMULADO
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									

RSO: RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

TABLA G. CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE RELLENO SANITARIO

AÑO	Volumen acumulado de RSO	Volumen acumulado del RS 1	Volumen acumulado del RS 2	Volumen acumulado del RS 3	Volumen acumulado del RS 4	Volumen acumulado del RS 5	Volumen acumulado del RS 6	Volumen acumulado del RS "n"	Volumen acumulado de rechazos	Volumen acumulado total (m ³)
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										

ó, el volumen acumulado "V" en un periodo determinado de "x" años se obtiene con la siguiente formula:

$$V_x = V \text{ acumulado del RSO en el año "x"} + V \text{ acumulado del RS 1 en el año "x"} + V \text{ acumulado del RS 2 en el año "x"} + \\ + V \text{ acumulado del RS 3 en el año "x"} + \dots + V \text{ acumulado del RS "n"} \text{ en el año "x"} + V \text{ acumulado de rechazos en el año "x"}$$

XII. PLAN DIRECTOR

XII.1 Plazos de ejecución. Los sistemas de gestión integral de residuos sólidos municipales son sistemas evolutivos. Esto es, se ajustan constantemente a las condiciones socioeconómicas, tecnológicas y políticas del entorno de aplicación. Es por ello que en algunas regiones se observan diferentes alternativas de tratamiento de los residuos sólidos aplicadas simultáneamente.

En este caso, que se sistematiza la gestión de residuos sólidos por módulos de recuperación de materiales y compostaje para atender generaciones diarias de 10 toneladas de residuos sólidos urbanos, es de esperarse la evolución de la tecnología y la aplicación de mejoras paulatinamente. Lo cual se vincula a programas de investigación y desarrollo llevados a cabo por las universidades e instituciones de investigación.

Es adecuado el siguiente orden de ejecución:

ETAPA I	ACTIVIDADES	MES DE INICIO	DURACIÓN
I.1	Construcción del CREMAC 1	1	2 meses
I.2	Adquisición del equipo de trabajo	1	15 días
I.3	Capacitación de los participantes	2	7 días
I.4	Mentalización inicial de la población	2	7 días
I.5	Inicio de actividades	3	1 mes
I.6	Primera venta de materiales	4	-
I.7	Primera producción de compost	6 a 8	-
I.8	Evaluación del programa	4 a 8	15 días
I.9	Mejoramiento y seguimiento (control)	9	-
ETAPA II	ACTIVIDADES	MES DE INICIO	DURACIÓN
II.1	Construcción de los CREMAC's 2 al 4	6	2 meses
II.2 a II.9	Idem. que I.2 a I.9	6 a 11	-
ETAPA III	ACTIVIDADES	MES DE INICIO	DURACIÓN
III.1	Construcción de los CREMAC's 5 al 7	13	2 meses
III.2 a III.9	Idem. que I.2 a I.9	13 a 18	-
ETAPA IV	ACTIVIDADES	MES DE INICIO	DURACIÓN
IV.1	Construcción de los CREMAC's 8 al 10	16	2 meses
IV.2 a IV.9	Idem. que I.2 a I.9	16 a 21	-
ETAPA V	ACTIVIDADES	MES DE INICIO	DURACIÓN
V.1	Construcción de los CREMAC's 11 al 15	19	2 meses
V.2 a V.9	Idem. que I.2 a I.9	19 a 24	-
ETAPA VI	ACTIVIDADES	MES DE INICIO	DURACIÓN
VI.1	Construcción de los CREMAC's 16 al 20	23	2 meses
VI.2 a VI.9	Idem. que I.2 a I.9	23 a 28	-

XII.2 Inversiones. El presupuesto básico para ejecutar el programa de implantación implica la cotización de los siguientes conceptos:

1. Costo del proyecto. Éste implica las erogaciones destinadas al estudio de la situación actual de la gestión, la evaluación de los tratamientos alternativos y los costes del proyecto de las instalaciones.
2. Costos de cada una de las actividades indicadas en las etapas y plazos de ejecución.
3. Costos de mantenimiento y explotación.
4. Costos de control de la explotación.
5. Costos del control medioambiental.

XII.3 Financiamiento. La Financiamiento del plan de gestión integral de los residuos sólidos es el punto medular y se procura aplicar todas las alternativas posibles que disminuyan los costes tanto para los ayuntamientos como para la población servida. Es

por ello que la valorización de los materiales conlleva a la modificación de tantos aspectos que incluyen:

- a) Legislación y normatividad nacional y provincial o estatal con respecto a los procesos de producción de los materiales vírgenes y de los envases y embalajes.
- b) Legislación y normatividad nacional y provincial o estatal con respecto a los procesos de tratamiento y reciclaje de los materiales recuperables.
- c) Legislación y normatividad municipal con respecto al sistema de gestión y tratamiento de los residuos sólidos municipales.
- d) Educación ambiental y concienciación ciudadana.
- e) Sistemas empresariales de gestión de los materiales recuperados.
- f) Participación de las universidades y otras instituciones en actividades de investigación y desarrollo relacionadas con la gestión de los residuos sólidos.
- g) Sistemas de comercialización de los productos obtenidos con aplicación directa, como la composta y el humus de lombriz.
- h) Metodologías para la evaluación y control de los tratamiento aplicados y la disposición final de los residuos sólidos.

Estos aspectos inciden en las operaciones que pueden adaptarse para ayudar a la Financiamiento de la gestión que tradicionalmente proporciona el ayuntamiento local.

Entre las operaciones que se adoptan para efecto de la Financiamiento del sistema están:

- Separación en la fuente y Recolección selectiva con tarifa de recuperación de los gastos del servicio pagada por la población servida.
- Recuperación de materiales para el reciclaje, compostaje y vermicompostaje con tarifas de venta de los materiales y/o productos obtenidos.
- Servicios de asesoría, consultoría y capacitación para el desarrollo e implantación de nuevos proyectos y/o para el aprovechamiento y aplicación de los productos obtenidos, como talleres de reciclaje de papel, uso agrícola del compost, etc.

XII.3.1 Tarifas. Como se aprecia en los párrafos anteriores el establecimiento de la tarifa de los servicios de gestión juega un papel fundamental para asegurar la Financiamiento del sistema.

Los tipos de tarifa que pueden adoptarse son:

Tarifa monómica. El precio es función exclusivamente del servicio de Recolección de residuos sólidos. La tendencia actual se encamina hacia el establecimiento de tarifas por bloques urbanos, de acuerdo al nivel socioeconómico.

Tarifa binómica. Está compuesta por un término fijo y un término proporcional a la generación de residuos sólidos por habitante.

El término fijo es normalmente función de la capacidad potencial de generación de residuos sólidos, establecido comúnmente por la generación promedio de la población y por el tipo dominante de residuo sólido generado.

En este tipo de tarifa pueden presentarse las variantes que resultan de asignar o no el servicio de Recolección gratuita al término fijo.

XII.3.2 Estudio de la tarifa. El estudio de las tarifas para cubrir los servicios de la gestión de residuos sólidos urbanos consta de los siguientes capítulos:

1. Memoria y anejos.
2. Gastos del servicio.
3. Tarifa necesaria.

XII.3.2.1 Memoria. En este apartado se justifica brevemente la propuesta de la modificación de tarifas, que normalmente es consecuencia de la insuficiencia de la aplicación de la tarifa vigente ante la subida de todos o algunos costes a los que la tarifa debe atender.

Se describe también brevemente la evolución experimentada de población, industrias, así como la proyección inmediata de aquella evolución, con el objeto de justificar las previsiones que se realicen sobre la Recolección, tratamiento y disposición de las cantidades de residuos sólidos que son facturadas durante el período de vigencia de la tarifa.

Por último, se describe el tipo de prestación del servicio, valoración y sistemas de Financiamiento utilizados.

Se describen las características fundamentales de las instalaciones existentes o de nueva creación, desglosadas, a ser posible, en las siguientes secciones:

- Puntos limpios o centros de acopio de residuos sólidos.
- Sistema de contenerización distribuido en la zona servida.
- Centros de recuperación y compostaje de materiales.
- Vertederos controlados.

Se describen las características de las obras e instalaciones o de ampliación o mejora de las mismas no cubiertas por las amortizaciones técnicas, que han de tener una repercusión inmediata en la tarifa durante el período de vigencia de ésta.

XII.3.2.2 Estudios correlativos. De igual manera se estudia:

- La evolución de la población servida, cuando menos, en los últimos cinco años.
- La evolución de la generación registrada de residuos sólidos en los últimos cinco años.
- La evolución de las tarifas en los últimos cinco años.

Se incluye también brevemente una descripción de la estructura del servicio y de las distintas unidades que lo integran, así como la lista del personal de plantilla adscrito a ellas.

XII.3.2.3 Gastos del servicio. Los gastos del servicio de la gestión de residuos sólidos municipales se agrupan en:

1) Gastos de mantenimiento y explotación.

1.1 Gastos fijos e independientes de la generación de residuos.

Personal. Se hace figurar la plantilla dividida, cuando menos, en los siguientes grupos:

- Personal de oficina:
 - Titulados superiores.
 - Titulados medios.
 - Técnicos
 - Administrativos.

- Auxiliares de oficina.
- Subalternos.
- Personal operario:
 - Mandos.
 - Oficiales.
 - Peones.

Se hacen figurar los costes de la plantilla con arreglo a la anterior división, incluyendo además, aparte de los sueldos o salarios, los seguros sociales y de accidentes vigentes para cada categoría laboral, así como todas las remuneraciones complementarias o de Convenio Laboral y las horas extraordinarias previsibles.

Se reseña, asimismo, en este apartado, el resto de los costes de personal, si los hubiere, incluyendo complementos de pensiones a los jubilados y actividades sociales de la empresa.

Gastos de mantenimiento o conservación. Se desglosan, al menos, en dos apartados:

- a. Materiales de conservación.
- b. Trabajos realizados por terceros.

De ser posible, se desglosan los gastos de conservación para cada uno de los siguientes tipos de obra:

- Área de separación de materiales reciclables e instalaciones complementarias.
- Área de compostaje de residuos orgánicos e instalaciones complementarias.
- Área de vermicompostaje (si aplica) e instalaciones complementarias.
- Relleno Sanitario e instalaciones complementarias.
- Edificios.

Materiales de explotación. Se incluyen en este apartado todos los gastos ocasionados por los siguientes conceptos:

- Alquileres.
- Parque móvil (incluye los vehículos de Recolección y transporte de RS).
- Utensilios y herramientas.
- Gastos generales y administrativos.

Así como los gastos correspondientes a los siguientes conceptos:

- Asesorías técnicas y jurídicas.
- Electricidad, limpieza, calefacción, aire acondicionado, teléfono, etc.
- Centro de procesamiento de datos.
- Gastos materiales derivados de la gestión comercial.
- Impresos y correos.
- Material vario de oficina.
- Impuestos, etc.

1.2 Gastos variables.

Suministro de agua. Se presentan los gastos correspondientes a la utilización de agua del suministro municipal para los servicios de la gestión, durante los últimos cinco años o para la demanda previsible, en el caso de nuevas instalaciones.

Energía eléctrica. Se presentan los gastos correspondientes a la utilización de energía eléctrica durante los últimos cinco años y se estima el coste previsible de energía eléctrica para nuevas instalaciones del sistema de gestión de residuos sólidos.

Combustible. Se presentan los gastos correspondientes a la utilización de combustibles para los vehículos del servicio de Recolección de residuos sólidos, durante los últimos cinco años o la estimación correspondiente a la ampliación del servicio o a la apertura de nuevas rutas.

Gastos de control. Se incluyen en este apartado los gastos de evaluación de calidad del proceso, los ensayos de proceso, control e inspección de las instalaciones.

2) Gastos de amortización de las instalaciones. Se constituye un fondo de amortización para cada una de las obras requeridas para la amortización técnica de las distintas instalaciones, de modo que puedan ser renovadas al término de su vida útil.

3) Gastos de Financiamiento del servicio. Deben figurar en este apartado las partidas necesarias para hacer frente al pago de los intereses y amortización de préstamos y créditos concertados para la ejecución de las obras, y, en el caso de empresas privadas concesionarias del servicio, a la retribución del capital propio, para el que se especifica el dividendo neto a la vista de los impuestos derivados de la Legislación Fiscal vigente.

Entre las distintas modalidades de préstamos o créditos recibidos y a amortizar, cabe los siguientes:

- Emisión de obligaciones.
- Emisión de deuda pública.
- Anticipos reintegrables de Organismos Oficiales, Centrales o Locales.
- Préstamos contraídos con entidades bancarias.
- Aportación de empresas gestoras del servicio.

En el caso de empresas privadas concesionarias del servicio y, cuyo activo, según los términos de la concesión, haya de revertir al Ayuntamiento al término de la misma sin indemnización, habrá de preverse, asimismo, la constitución de un fondo de reversión cuya incidencia debe figurar en la tarifa.

XII.3.3 Cálculo de la tarifa necesaria. La fórmula de la tarifa, salvo justificación suficiente es binómica. Consiste de un primer término independiente de la cantidad de residuos sólidos recogidos, denominado cuota de servicio, y de un segundo término, función lineal de la cantidad de residuos sólidos generados y recogidos, por un factor de ajuste.

En consecuencia la fórmula de cálculo de la Tarifa T es:

$$T = C + (W \cdot B \cdot K)$$

Donde:

- C = Cuota de servicio.
- W = Peso promedio de RS por persona generados en una zona urbana definida.
- B = Precio Base por kilogramo de residuos sólidos recogidos.
- K = Coeficiente de ponderación del precio base por generación de RSU.

El parámetro K puede emplearse para el establecimiento de distintos precios de aplicación según la tasa de generación de residuos sólidos por habitante, así como para

estimular la reducción de la generación de residuos sólidos o penalizar la mala separación en la fuente, etc.

La cuota de servicio se establece en función de un factor de ponderación por nivel socioeconómico de cada zona urbana servida y de los requerimientos mínimos del servicio de Recolección.

Es recomendable que la recaudación total por el concepto de cuota de servicio se ubique entre un 20 y 40 % de la recaudación total por tarifa. En las zonas de mayor nivel socioeconómico podrá justificarse que esta recaudación suponga un mayor porcentaje de la recaudación total. En estos casos se adopta el 70 %.

Para el cálculo de la tarifa se procede como sigue:

1. Se determina, en primer lugar, la cantidad anual (R_t) a recaudar por tarifa para atención de los gastos, calculados según se ha expuesto, deduciendo de los mismos, en su caso, las previsiones de ingresos atípicos.
2. A continuación se aplica el porcentaje (F_c) adoptado de participación de la cuota de servicio en la recaudación para obtener:

Recaudación por cuota de servicio: $F_c \times R_t$

Recaudación por servicio facturado: $R_t (1 - F_c)$

3. Utilizando los datos de población a servir por zona urbana (nivel socioeconómico) y las cuotas de servicio esperadas para cada una de ellas, se calcula la cuota de servicio correspondiente a cada vivienda para que la recaudación global alcance la cantidad resultante de $F_c \times R_t$.
4. Para la determinación del precio base que ha de aplicarse por kg de residuos sólidos gestionados, solamente se divide la recaudación por servicio facturado $R_t(1-F_c)$ entre la generación anual de residuos sólidos en kg/año.

Debe tenerse en cuenta que los incrementos correspondientes a penalización o motivación de las restricciones de generación de residuos sólidos, no deben computarse como ingresos a estos efectos. Sin embargo, el valor de K puede aplicarse como una manera de estimular la participación de las colonias de menor nivel socioeconómico disminuyendo para sus habitantes el valor de K y aumentándolo proporcionalmente en las colonias de mayor nivel socioeconómico.

El cálculo de la cuota de servicio afectada por el factor de ponderación por nivel socioeconómico de cada zona urbana requiere una estimación de los factores de ponderación para cada zona urbana. Esta estimación es simplemente resuelta al considerar las variables en un sistema de ecuaciones de primer grado.

XII.3.4 Revisión de tarifas. Las tarifas deben disponerse de un proceso de actualización fácil y claro que permita mantener el equilibrio económico del abastecimiento, ya que, de lo contrario, se producen déficits que producen la disminución de la calidad de la gestión.

Al establecer la tarifa por primera vez o al modificarse sustancialmente las condiciones de los servicios (variación sustancial de la generación total de residuos sólidos o por tipo de residuo sólido, cambio de forma de Recolección, automatización de la separación y/o tratamiento de los residuos, etc.) debe procederse a la redacción y tramitación de un proyecto de creación o modificación de tarifas.

Si sólo se varían determinadas características conocidas, el proceso para la revisión de tarifas se realiza a través de la aplicación de fórmulas polinómicas en las que se recogen dichas características variables, con su participación ponderada en el precio final.

La fórmula de revisión puede adoptar la siguiente forma:

$$K = P_1 [H^+/H_0] + P_2 [E^+/E_0] + P_3 [G^+/G_0] + P_4 [R^+/R_0] + C$$

Dónde:

- P_1 = Porcentaje costo de mano de obra sobre el total de los gastos.
- P_2 = Porcentaje de gastos de energía.
- P_3 = Porcentaje de gastos de combustible.
- P_4 = Porcentaje de gastos de reparaciones y mantenimiento.
- H = Índice costo de la mano de obra.
- E = Índice del costo de la energía eléctrica.
- G = Índice del costo del combustible.
- R = Índice del costo de las reparaciones y mantenimiento de obras.
- C = Porcentaje del resto de los gastos no incluidos en los anteriores.

XII.4 Implantación orgánica. La gestión de los residuos sólidos municipales, desde una perspectiva integral y en constante mejoramiento, hace indispensable, como ya se ha mencionado en otros capítulos, que se mantenga dentro un órgano con autonomía, sujeto a la supervisión y control de los Ayuntamientos correspondientes. La implementación orgánica se muestra en la figura 11.7.

La participación de las autoridades municipales en la gestión se limita a la Planificación y Control. Estos servicios los contrata el Ayuntamiento o los Ayuntamientos a empresas o instituciones con capacidad jurídica y técnica para su realización.

La separación de la injerencia de los Ayuntamientos sobre la ejecución de los planes de gestión de residuos sólidos les permite aplicar controles más estrictos, logrando con ello mejor atención para la sociedad que representan.

XII.5 Implantación técnica. De acuerdo a la figura 11.7 se desglosa a continuación el grado de especialización del personal a cargo de las actividades técnicas:

Gerencia de la empresa. Ocupa el puesto una persona con título superior de Ingeniero especializado en alguna de las ramas de las ciencias del medio ambiente. Organiza y supervisa todas las actividades de la gestión de residuos sólidos municipales. Reporta a las autoridades municipales y se coordina con las empresas consultoras y universidades.

Director del CREMAC. El puesto requiere de una persona con título superior de Ingeniero especializado en alguna de las ramas de las ciencias del medio ambiente, con conocimientos y experiencia en gestión de residuos sólidos. Este puesto coordina de uno a cinco CREMAC's instalados y es responsable del buen funcionamiento de cada uno de ellos. Se coordina con los demás departamentos de la organización y reporta al gerente de la empresa.

Director del Relleno Sanitario. Es una persona con título superior de Ingeniero de Caminos, especializado en la gestión de vertederos. Administra el funcionamiento del vertedero municipal o intermunicipal y tiene a su cargo el personal y equipo necesario para la explotación y mantenimiento del vertedero.

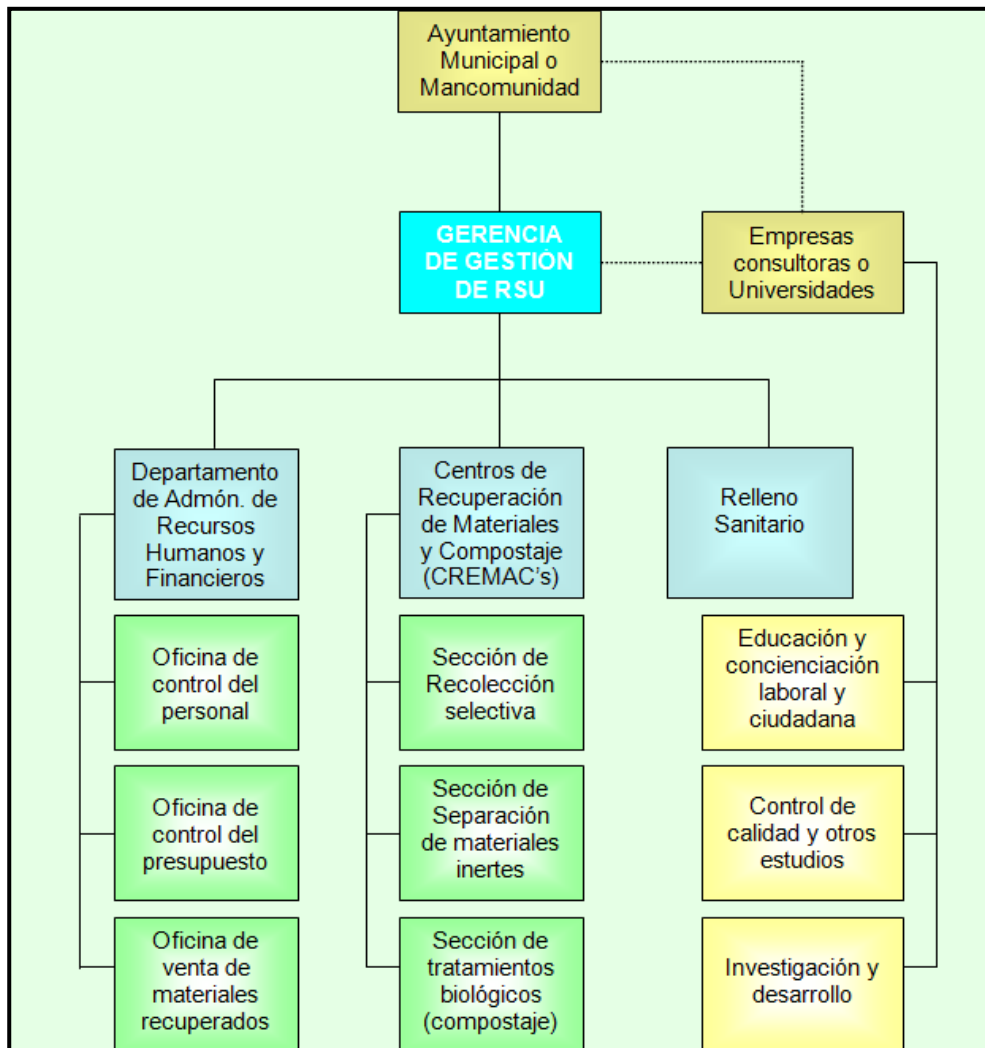


Fig. 11.7 Organigrama de la Empresa Municipal o Intermunicipal de Gestión de RSU.

Jefe de Sección de Recolección selectiva. Titulado medio o técnico en un área de tecnologías ambientales con experiencia en manejo de personal y educación ambiental. Coordina y supervisa la separación en la fuente y la Recolección selectiva de los residuos sólidos urbanos en el área definida para un CREMAC. Tiene a su cargo el personal y equipo que requiere la Recolección, como son operarios y vehículos de Recolección.

Jefe de Sección de separación de materiales inertes. Titulado medio o técnico en tecnologías ambientales con experiencia en manejo de personal. Coordina y supervisa la recepción de los materiales en el área de separación de residuos, su traslado a las mesas de separación, la separación de los materiales y su correcto almacenamiento o retirada al vertedero, lo que sea pertinente. Tiene a su cargo a los operarios y el equipo requeridos para dichas actividades. Se coordina con la oficina de venta de materiales.

Jefe de Sección de tratamiento biológico. Titulado medio o técnico en un área de tecnologías ambientales con experiencia en tratamiento de residuos orgánicos. Coordina y supervisa la recepción de los materiales en el área de compostaje, su reducción de tamaño y traslado a las pilas de compostaje, el control y mantenimiento de las pilas y el correcto funcionamiento del sistema hidráulico y de lixiviados. Tiene a su cargo a los operarios y el equipo requeridos para dichas actividades. Se coordina con la oficina de venta de materiales y productos.

Empresas consultoras y/o universidades. Instituciones o empresas, que por sus recursos humanos de niveles académico y técnico avanzados y por el equipamiento de

sus instalaciones, son el sostén para los Ayuntamientos y para los responsables de la gestión de residuos sólidos, para cumplir con actividades tan esenciales como:

- *Educación y concienciación ciudadana y capacitación laboral.* El apoyo profesional en estos conceptos proviene del personal de docencia e investigación dedicado a tareas afines a la gestión de residuos sólidos.
- *Control de calidad del proceso y de los productos obtenidos.* Principalmente se desarrolla con el apoyo de técnicos o titulados medios que laboran en los laboratorios de las empresas e instituciones de investigación.
- *Estudios de evaluación del impacto ambiental.* Actividad desarrollada por expertos en el área. Normalmente postgraduados en alguna de las ciencias ambientales.
- *Investigación y desarrollo.* Actividades exclusivas de las universidades e instituciones de investigación. En muchos países se soportan por organizaciones relacionadas con la gestión ambiental, para llevar a cabo proyectos de investigación e implementar nuevas tecnologías para la minimización y valorización de los residuos. Mayoritariamente participan investigadores con nivel de doctorado.

XII.6 Implantación administrativa. Las actividades administrativas que complementan la gestión de los residuos sólidos son llevadas a cabo en un Departamento de Administración de Recursos Humanos y Financieros. El puesto de jefe del departamento es ocupado por un Administrador con título superior y experiencia en las actividades que conforman tal departamento.

El Departamento de Administración se apoya en tres secciones, las cuales son:

- **Oficina de control del personal.** El responsable de esta oficina debe ser titulado superior o medio con conocimientos y experiencia en administración de recursos humanos.
- **Oficina de control del presupuesto.** Esta oficina es ocupada por un titulado superior o medio con conocimientos y experiencia en el control presupuestario, siendo capaz de participar en la toma de decisiones y cálculo de tarifas por el servicio otorgado.
- **Oficina de venta de materiales recuperados.** El encargado de esta oficina es un titulado medio o superior con experiencia en la comercialización de materias primas industriales y conocimientos contables para llevar a cabo el control de la compra venta de materiales recuperados y/o productos.

XII.7 Implantación legal. Este último punto, juega el papel más importante de todo el plan de gestión. La decisión del sistema administrativo que conducirá el plan, tanto en el principio como a lo largo del tiempo de aplicación, es preponderante. La implantación permanente del proceso de planificación es la etapa más difícil y deben definirse conscientemente las políticas para llevarlo al éxito.

Los siguientes conceptos requieren la evaluación legal y toma de decisiones por parte de las autoridades en turno, nacionales, provinciales o locales, según sea el caso de las intenciones:

1. Aprobación del plan de gestión de residuos sólidos municipales.
2. Ordenanzas municipales con respecto a la utilización del suelo para las instalaciones y edificios requeridos para la ejecución del plan de gestión.
3. Ordenanzas municipales con respecto a las tarifas y cánones de cargo por servicio de Recolección de residuos sólidos y disposición de residuos en vertedero.
4. Ordenanzas municipales con respecto a los cánones de cargo por multas a la comunidad o personas que incumplan con los decretos legales propios de la gestión.

5. Los asuntos transitorios que puedan surgir como resultado de la investigación y actividades de desarrollo realizadas por universidades, instituciones de investigación y/o empresas consultoras.

XII.8 Control y evaluación de resultados. Los conceptos listados a continuación complementan el plan director y dan al plan de gestión la seguridad de mantener la tendencia hacia el mejoramiento continuo. Además, cubren las exigencias legales requeridas para evaluar el funcionamiento de las instalaciones y de la propia gestión para minimizar el impacto ambiental y en la salud:

1. Control de la explotación o funcionamiento.
2. Control medio ambiental sobre la emisión de olores, lixiviados y aguas afuera y de la disposición final de los rechazos en vertederos controlados.
3. Evaluación de los resultados. Chequeo de los resultados obtenidos con los criterios de evaluación y los objetivos y metas establecidos.

XII.9 Vuelta atrás. Es una advertencia que exige chequear y hacer las modificaciones necesarias cuando se modifican las hipótesis de partida, ya que éstas han sido la base del desarrollo de un plan particular de gestión integral de residuos sólidos municipales.

11.2 CASO PRÁCTICO.

PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA ZONA CONURBADA MINATITLÁN-COSOLEACAQUE

El plan de gestión integral para la zona Minatitlán-Cosoleacaque, en el sur del estado de Veracruz, México, se desarrolla de acuerdo a la guía metodológica del apartado 11.1. En virtud de que la mayor parte de las etapas han sido tratadas durante el desarrollo de la tesis doctoral, se presenta en los párrafos subsecuentes el apartado de referencia o un análisis de ellas cuando corresponda, mientras que las etapas no consideradas hasta ahora se desglosan atendiendo las indicaciones metodológicas.

I. PROPÓSITO DEL PLAN. Los países en desarrollo, como México, cuando han intentado transferir los mismos tipos de estructura y entendimiento de los países en desarrollo para mejorar la gestión de sus residuos, invariablemente no alcanzan los resultados deseados. Inevitablemente ocurren muchas fallas por creer que todos los problemas de gestión de residuos pueden resolverse simplemente introduciendo las últimas o las mejores soluciones tecnológicas. Por otro lado, se ha ignorado la necesidad de implantar o modificar las relaciones institucionales que conlleven a la sostenibilidad del sistema. Se ha minimizado la importancia de ciertos factores y circunstancias que pueden sobreponerse a todas las otras consideraciones. Estos pueden ser las costumbres culturales y religiosas y los factores sociales o la poca disponibilidad de recursos.

De ahí que, retomando el propósito del plan propuesto en la guía metodológica, se establece como propósito particular el siguiente: “Mejorar la gestión actual de los residuos sólidos urbanos y consolidar un sistema integral de gestión, con un mínimo de requerimientos de recursos humanos y económicos. Empleando, dentro de lo posible, a los recursos humanos que actualmente desempeñan actividades de manera formal o informal relacionadas con la gestión, como Recolección, selección y recuperación de materiales existentes en los residuos sólidos.”

II. OBJETIVOS Y METAS. Los mismos objetivos y metas de la propuesta metodológica de planificación, subcapítulo 11.1 (apartados II, III, IV y V).

III. ÁREA DE SERVICIO. La conurbación Minatitlán-Cosoleacaque, localizada en el sur del Estado de Veracruz, México. La cual se ha descrito en el Capítulo 8, apartado 8.3.

IV. CRITERIOS DE VALORACIÓN. Los referidos en el apartado VII del subcapítulo 11.1.

VI. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN ACTUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. El reportado en el Capítulo 8, apartado 8.4.

V. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS RECOMENDABLES. Los reportados en el Capítulo 9, apartados 9.1 a 9.5, cuya guía metodológica, para fines de planificación, corresponde al apartado X del subcapítulo 11.1.

Los métodos evaluados, cuyos resultados han sido reportados, son:

- Separación en la fuente y Recolección selectiva de residuos sólidos urbanos.
- Potencial de recuperación y reciclaje de materiales.
- Compostaje de residuos orgánicos de cocina, jardinería y agropecuarios.
- Vermicompostaje de residuos orgánicos de cocina, jardinería y agropecuarios.
- Otros métodos de aprovechamiento o reciclaje de residuos sólidos: Cultivo de setas comestibles en substratos forestales y agropecuarios.

De los que se retoma la siguiente información, aplicable en los cálculos posteriores:

1. Población urbana base, año 2.000: 200,000 habitantes.

2. Generación de residuos sólidos domésticos: 1.04 kg/hab/día.
3. Generación porcentual de residuos clasificados:

Orgánicos (cocina y jardín):	58.48 %		
Vidrio:	4.13	Tetrabrick:	0.99 %
Metal:	1.75	Tela:	0.46
Papel y cartón:	7.34	Papel higiénico:	15.44
Plástico:	9.84	Otros:	1.57

VI. ESTABLECIMIENTO Y DIRECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

Se retoman las alternativas establecidas en el apartado XI de la metodología de planificación (subcapítulo 11.1), las cuales implican la información complementaria que se describe a continuación:

1. Se establece como alternativa patrón la construcción de CREMAC's (Centros de recuperación de materiales y compostaje) para servir a módulos poblacionales que generen alrededor de 10 toneladas diarias de residuos sólidos, con variaciones en función de las distancias de transporte y del desarrollo de la zona urbana a servir. Esto es, hay zonas de nuevo desarrollo con baja densidad poblacional y que prometen alcanzar en el mediano plazo mayor densidad poblacional. Otro caso es la zona comercial del centro de Minatitlán, en la que la densidad poblacional es baja y los residuos generados pueden recogerse con algunas variantes del sistema de Recolección de las zonas habitacionales. Los CREMAC's han sido descritos en el apartado XI. La distribución de los primeros 16 CREMAC's se refleja en la tabla XI.7.

Tabla XI.7. Distribución de los centros CREMAC's, población y zona de influencia.

Ubicación y población servida (habitantes)	COLONIAS DE LA ZONA DE INFLUENCIA
Colonia Petrolera: 10,300	20 de Nov., 1 de Mayo, Los Maestros, B. Vista N., N. Tacoteno y Petrolera.
Díaz Ordáz: 10,000	Oaxaqueña, Niños Héroes, Buena Vista Norte 2ª Sección y Díaz Ordáz.
Colonia Azteca: 9,000	Infonavit Paquital, México, Azteca, Agustín Melgar y Ampliación.
Colonia Congreso: 9,000	Emiliano Zapata, 10 de Mayo, México y Congreso
Sector Zona Militar: 9,200	Sebastián Guzmán, Salubridad, Ejido Tacoteno y la zona militar
Cuauhtémoc: 11,000	Gravera, Obrera y Cuauhtémoc.
Colonia Obrera: 10,000	Primera de mayo, centro y obrera.
Santa Clara: 9,000	B. Vista Sur, N. Tacoteno, La Bomba, La Bohemia, Chapala y Santa Clara.
Colonia Centro: 5,000	Centro, Santa Clara.
Playón Sur: 10,000	Palmar, Nuevo Palmar, Playón Sur y ampliación.
Nueva Aurora: 10,000	R. Cortines, Palmar, Guaya canal, Prad. del Jagüey, Aurora y N. Aurora.
Colonia M. Hidalgo: 9,000	N. Mina Sur, M. Hidalgo, y ampliación, Praderas del Jagüey y Cualipan.
F. Gutiérrez: 8,000	Chichonal, Las Fuentes, Tlalculoya, Benito Juárez. y F. Gutiérrez.
Colonia Fovisste: 8,000	Fovisste, Luis Echeverría, Cerro Alto, Sección 32.
Colonia El Mangal: 9,000	Insurgentes Sur, Las Delicias, El Mangal, 16 de Septiembre y D. Delgado.
Framboyan: 10,000	Insurgentes Norte y Sector Framboyan.

2. El sistema de Recolección domiciliaria consiste en mototriciclos de carga con capacidad de 1 m³, de acuerdo a la programación de Recolección establecida en la tabla XI.1. El número de vehículos de Recolección calculado para cada CREMAC y su zona de influencia es de 21, de acuerdo a:

- Población atendida en promedio: 10,000 habitantes.
- Generación de RSU por 10,000 personas: 10,400 kg/día.
- Días de Recolección por semana: 6 días alternados de 3 en 3 para cada 5,000 habitantes.

La generación clasificada para 7 días por grupo de 5,000 personas se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla XI.8. Cálculo de la generación de RS en volumen por día de Recolección.

Residuo Sólido	Fracción (%)	kg/ semana	P.E. (kg/m ³)	Volumen/ semana	m ³ /día de Recolección	Total/día Recolección
Comida/Jardín	58.48	21,287	253	84 m ³	28	49 m ³ Días de Recolección: 1,3 y 5
Sanitario/rechazo	15.44	5,620	99	57	19	
Otros	1.57	572	95	6	2	
Vidrio	4.13	1,503	188	8	4	36 m ³ Días de Recolección: 1 y 3
Metal	1.75	637	159	4	2	
Plástico	9.84	3,582	65	54	27	
Tetrabrick	0.99	360	60	6	3	36 m ³ Día de rec.: 5
Papel/Cartón	7.34	2,672	79	34	34	
Tela	0.46	167	83	2	2	
TOTAL	100 %	36,400		255 m³		85 m³

Como ya se ha estipulado en la metodología, las 5,000 personas restantes reciben el servicio de Recolección los días 2, 4 y 6 de cada semana, como se detalla en la tabla XI.8, sustituyendo los días 1, 3 y 5 por 2, 4 y 6 respectivamente. El número de viajes a realizar es equivalente a 85, considerando que cada mototriciclo de carga es de 1 m³ de capacidad. De ahí, como cada vehículo realiza 4 recorridos por día de trabajo, resulta que se requieren 21 mototriciclos e igual número de operarios denominados recogedores domiciliarios.

3. La separación y recuperación de residuos sólidos inertes y el compostaje de los residuos orgánicos se siguen de acuerdo a la metodología establecida en el subcapítulo 11.1, apartados XI.2 y XI.3.
4. El proceso de vermicompostaje, en este caso, queda como una posibilidad que se evaluará cuando se haya establecido por completo el plan de gestión y la población haya adquirido mayor nivel de concienciación ambiental.
5. El cálculo del espacio necesario para el Relleno Sanitario se desarrolla a continuación, de acuerdo a los formatos del grupo C del apartado XI, del subcapítulo 11.1:
 - El cálculo de las necesidades de Relleno Sanitario se ha hecho en este caso para la mezcla de materiales inertes separados en la fuente compuesta por: Vidrio, metal, plástico, papel y cartón. La mezcla de ellos representa el 23.06 %, los rechazos el 18.46 % y los residuos orgánicos compostables el 58.48 %.
 - En la tabla XI.9 se determina el volumen del espacio de Relleno Sanitario de los residuos sólidos inertes no recuperados. En la tabla XI.10 se determina el volumen del espacio de Relleno Sanitario de los rechazos separados en origen.
 - En la tabla XI.11 se determina el volumen del espacio de Relleno Sanitario de los residuos orgánicos no aprovechados. En la tabla XI.12 se determina el volumen del espacio total de Relleno Sanitario de los residuos destinados al vertedero.

Las metas de recuperación de materiales se han establecido considerando que las etapas de construcción de los CREMAC's terminan aproximadamente a los 2 años de haber iniciado el programa. Por ello se aprecia en las siguientes tablas un salto importante en las metas de recuperación a partir del segundo y tercer años. No siendo así para el caso de los rechazos separados desde el origen, los cuales contienen en gran proporción papel del servicio sanitario. Los rechazos son transportados a los vertederos con apoyo de la flotilla de vehículos existente, por lo que en los años siguientes, si es necesario, se contempla el coste de los vehículos necesarios, ya sea por renovación o por ampliación de la flotilla. Lo cual impacta la tarifa de la gestión.

Tabla XI.9. Cálculo del volumen de Relleno Sanitario para los residuos sólidos inertes recuperables actualmente.

POBLACIÓN TOTAL: 200,000 habitantes. AÑO CERO: año 2.000	PESO ESPECÍFICO DEL RS EN RELLENO SANITARIOO COMPACTADO (ton/m ³): 0,500
TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL: 2 % anual	
GENERACIÓN DE RSU/HAB DIA DEL AÑO 0: 1.04 kg/hab/día	VOLUMEN FINAL ACUMULADO EN <u>10</u> AÑOS (m ³): 231,465,1

AÑO	GENERACIÓN RSU (ton)	FRACCIÓN DEL RS (%)	GENERACIÓN DEL RS (ton)	META (%) DE REC.	REC. DEL RS (ton)	RS (ton) A VERTER	VOLUMEN A VERTER (m ³)	VOLUMEN (m ³) ACUMULADO
0	75,920,0	23	17,461,6	5	873,1	16,588,5	33,177,1	33,177,1
1	77,438,4	23	17,810,8	10	1,781,1	16,029,7	32,059,5	65,236,6
2	78,987,2	24	18,956,9	20	3,791,4	15,165,5	30,331,1	95,567,7
3	80,566,9	24	19,336,1	30	5,800,8	13,535,2	27,070,5	122,638,2
4	82,178,3	25	20,544,6	40	8,217,8	12,326,8	24,653,5	147,291,7
5	83,821,8	25	20,955,5	50	10,477,7	10,477,7	20,955,5	168,247,2
6	85,498,3	26	22,229,6	60	13,337,7	8,891,8	17,783,6	186,030,1
7	87,208,2	27	23,546,2	70	16,482,3	7,063,9	14,127,7	200,157,8
8	88,952,4	28	24,906,7	75	18,680,0	6,226,7	12,453,3	212,611,1
9	90,731,4	29	26,312,1	80	21,049,7	5,262,4	10,524,8	223,135,9
10	92,546,1	30	27,763,8	85	23,599,3	4,164,6	8,329,2	231,465,1

RS: MEZCLA DE RESIDUOS SÓLIDOS INERTES RECUPERABLES.

REC.: RECUPERACIÓN

Tabla XI.10. Cálculo del volumen de Relleno Sanitario para los rechazos separados en origen.

POBLACIÓN TOTAL: 200,000 habitantes. AÑO CERO: año 2.000	PESO ESPECÍFICO DEL RECHAZO EN
TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL: 2 % anual	RELLENO SANITARIO COMPACTADO (ton/m ³): 500 kg/m ³
GENERACIÓN DE RSU/HAB DIA DEL AÑO 0: 1.04 kg/hab/día	VOLUMEN FINAL ACUMULADO EN <u>10</u> AÑOS (m ³): 361,638,2

AÑO	GENERACIÓN RSU (ton)	FRACCIÓN RECHAZO (%)	GENERACIÓN (ton)	META (%) DE REC.	RECUPERACIÓN (ton)	RECHAZO A VERTER (ton)	VOLUMEN A VERTER (m ³)	VOLUMEN (m ³) ACUMULADO
0	75,920,0	19	14,424,8	0	0	14,424,8	28,849,6	28,849,6
1	77,438,4	19	14,713,3	0	0	14,713,3	29,426,6	58,276,2
2	78,987,2	19	15,007,6	0	0	15,007,6	30,015,1	88,291,3
3	80,566,9	19	15,307,7	0	0	15,307,7	30,615,4	118,906,7
4	82,178,3	19	15,613,9	0	0	15,613,9	31,227,7	150,134,4
5	83,821,8	20	16,764,4	0	0	16,764,4	33,528,8	183,663,2
6	85,498,3	20	17,099,7	0	0	17,099,7	34,199,4	217,862,6
7	87,208,2	20	17,441,6	0	0	17,441,6	34,883,4	252,746,0
8	88,952,4	20	17,790,5	0	0	17,790,5	35,581,0	288,327,0
9	90,731,4	20	18,146,3	0	0	18,146,3	36,292,7	324,619,7
10	92,546,1	20	18,509,2	0	0	18,509,2	37,018,5	361,638,2

Nota: La mayor parte de los rechazos son papel utilizado en el servicio sanitario (15 a 16 %), lo que significa que si se presenta otra alternativa factible y económica para ese tipo de residuos se reduce el volumen de rechazos en un 75 %, es decir se tendría un acumulado de 90,410 m³ de rechazos y no los 361,638,2 m³. Entre las posibilidades se tiene el compostaje en recipientes controlados, la digestión anaerobia, la incineración o simplemente descargarlo en la alcantarilla. Esta última alternativa no se recomienda en la zona de servicio debido a la inexistencia de depuradoras de aguas residuales.

Tabla XI.11. Cálculo del volumen de Relleno Sanitario para residuos sólidos biodegradables (RSO)

POBLACIÓN TOTAL: 200,000 habitantes	AÑO CERO: año 2.000	PESO ESPECÍFICO DE RSO EN RELLENO SANITARIO(ton/m ³): 0,500
TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL: 2 %		VOLUMEN REMANENTE POR DEGRADACIÓN (%): 50
GENERACIÓN DE RSU/HAB DIA DEL AÑO 0: 1.04 kg/hab/día		VOLUMEN ACUMULADO EN <u>10</u> AÑOS (m ³): 139,656,9

AÑO	GENERACIÓN RSU (ton)	FRACCIÓN DE RSO (%)	GENERACIÓN DE RSO (ton)	META (%) DE REC.	RECUPERACIÓN DE RSO (ton)	RSO (ton) A VERTER	VOLUMEN A VERTER (m ³)	VOLUMEN (m ³) DEGRADADO	VOLUMEN (m ³) ACUMULADO
0	75,920,0	58	44,033,6	10	4,403,4	39,630,2	79,260,5	39,630,2	39,630,2
1	77,438,4	58	44,914,3	30	13,474,3	31,440,0	62,880,0	31,440,0	71,070,2
2	78,987,2	57	45,022,7	50	22,511,4	22,511,4	45,022,8	22,511,4	93,581,6
3	80,566,9	57	45,923,1	70	32,146,2	13,776,9	27,553,8	13,776,9	107,358,5
4	82,178,3	56	46,019,8	80	36,815,9	9,204,0	18,408,0	9,204,0	116,562,5
5	83,821,8	55	46,102,0	85	39,186,7	6,915,3	13,830,6	6,915,3	123,477,8
6	85,498,3	54	46,169,1	90	41,552,2	4,616,9	9,233,8	4,616,9	128,094,7
7	87,208,2	53	46,220,3	90	41,598,3	4,622,0	9,244,1	4,622,0	132,716,7
8	88,952,4	52	46,255,2	95	43,942,5	2,312,8	4,625,5	2,312,8	135,029,5
9	90,731,4	51	46,273,0	95	43,959,4	2,313,7	4,627,3	2,313,7	137,343,2
10	92,546,1	50	46,273,1	95	43,959,4	2,313,7	4,627,3	2,313,7	139,656,9

RSO: RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Tabla XI.12. Calculo del volumen total de Relleno Sanitario

AÑO	Volumen acumulado de RSO	Volumen acumulado del RS inerte	Volumen acumulado de rechazos	Volumen acumulado total (m ³)
0	39,630,2	33,177,1	28,849,6	
1	71,070,2	65,236,6	58,276,2	
2	93,581,6	95,567,7	88,291,3	
3	107,358,5	122,638,2	118,906,7	
4	116,562,5	147,291,7	150,134,4	
5	123,477,8	168,247,2	183,663,2	
6	128,094,7	186,030,1	217,862,6	
7	132,716,7	200,157,8	252,746,0	
8	135,029,5	212,611,1	288,327,0	
9	137,343,2	223,135,9	324,619,7	
10	139,656,9	231,465,1	361,638,2	732,760,2 m ³

De acuerdo al volumen total de Relleno Sanitario en el año 10 (tabla XI.12), la línea de trabajo sobre el Relleno Sanitario controlado debe asegurar el espacio suficiente para verter 732,760,2 m³, siempre y cuando se consideren posibles las tasas de recuperación. Para ello, se ha de poner en marcha todo el engranaje que incluye la implantación orgánica, técnica, administrativa y legal del plan director.

VII. PLAN DIRECTOR.

VII. 1 Plazos de ejecución. La ejecución del plan de gestión se apega a lo establecido en el apartado XII.1 del subcapítulo 11.1. Como se aprecia en dicho apartado, no se ha considerado la construcción de un Relleno Sanitario. Sin embargo, es necesario contemplarlo como una inversión inicial, ya que si existe la posibilidad económica o de Financiamiento debe realizarse.

VII.2 Inversiones.

Los siguientes conceptos se han cotizado en dólares americanos:

Costo del proyecto:

- Estudio base: \$ 1,000,00
- Proyecto: \$ 2,000,00

Costos de las etapas indicadas en los plazos de ejecución:

- Terreno para construir 20 CREMAC's: 20 x 10,000,00 = \$ 200,000,00
- Construcción de 20 CREMAC's: 20 x 15,000,00 = \$ 300,000,00
- Equipo y herramientas para 20 CREMAC's: 20 x 15,000,00 = \$ 300,000,00
- Construcción y terreno del Relleno Sanitario = \$ 500,000,00

Capacitación de los empleados y obreros: \$ 5,000,00

- Educación y mentalización ambiental inicial: \$ 10,000,00
- Educación y mentalización periódica: \$ 1,000,00 /mes

Costos de mantenimiento y explotación:

- Salarios del Gerente y 1 director de departamento, 4 directores de CREMAC y 1 director del Relleno Sanitario (7 personas): \$ 3,000,00 /mes
- Salarios de jefes de oficina, responsables de sección en el CREMAC y Relleno Sanitario (65 personas): \$ 19,500,00 /mes
- Salarios de 6 conductores para el transporte de rechazos: \$ 1,500,00 /mes
- Salarios de recogedores domiciliarios (420 personas): \$ 60,500,00 /mes
- Salarios de obreros en los CREMAC's (280 personas) \$ 40,500,00 /mes

Costos de control de la explotación:

- Servicio de evaluación de calidad: \$ 500,00 /mes
- Costos del control medioambiental: \$ 500,00 /mes
- Suministro de agua: \$ 1,000,00 /mes
- Energía eléctrica: \$ 5,000,00 /mes
- Combustible: \$ 15,000,00 /mes

Total costo inversión inicial: \$ 1,318,000,00

Total gastos explotación y mantenimiento: \$ 148,000,00 /mes

ó \$ 1,776,000,00 /año

VII.3 Financiamiento. El sistema integral de gestión de residuos puede acceder a diversas formas de Financiamiento, entre las que se encuentran:

- Emisión de obligaciones.
- Emisión de deuda pública.
- Anticipos reintegrables de Organismos Oficiales, Centrales o Locales.
- Préstamos contraídos con entidades bancarias.
- Aportación de empresas gestoras del servicio.
- Aportaciones no reintegrables de Organismos no gubernamentales (ONG's).

Un apoyo importante puede ser la existencia o creación de Fundaciones para el mejoramiento ambiental. Para ello puede elaborarse un plan que abarque la Financiamiento de la instalación del sistema de gestión y las tareas de investigación y concienciación para la gestión integral de los residuos sólidos.

Sin embargo, es pertinente considerar la recuperación económica del 100 % de las contribuciones para asegurar la Financiamiento del sistema sin implicar las posibles utilidades por la venta de materiales recuperados.

Con el paso del tiempo, ya en operación el sistema integral, se aplican los ajustes necesarios en las tarifas y entonces se incluyen las entradas económicas por los conceptos mencionados y otros que pudieran surgir. El impacto positivo de los ingresos extras se reflejará en una disminución en el costo del servicio o preferentemente en las mejoría del sistema, actividades de investigación y desarrollo, etc.

VII.3.1 Recuperación Económica. La gestión de residuos sólidos en el mundo entero no ha llegado a alcanzar niveles de autosuficiencia, sin embargo, se reconoce que ante la obligación de los gobiernos por cumplir con el servicio es necesario erogar fuertes cantidades de dinero para llevarlo a cabo eficientemente. La gestión integral, así mismo tiene un costo elevado, pero ofrece la posibilidad de recuperación económica, material y energética, con una afectación menor al medio ambiente y la salud humana.

En la actualidad la comercialización de los residuos reciclables en la zona conurbada Minatitlán-Cosoleacaque se realiza entre los segregadores de residuos y las empresas establecidas en las cercanías de los vertederos. La mayoría de estas empresas son pequeñas y generalmente realizan la compra a menudeo. También reciben mercancía de personas que realizan la pepena en las calles, recolectores que realizan la recuperación de materiales durante su actividad de Recolección y los domiciliarios que separan en la fuente. Normalmente cuentan con un vehículo para acudir por volúmenes mayores.

Estas empresas venden los materiales a otras de mayor capacidad, las cuales tienen convenios con industrias de transformación y recicladoras.

Los residuos que se comercializan en la zona son: vidrio blanco y vidrio ámbar quebrado y entero; metales como el hierro, aluminio (botes y perfil) y bronce; y papel y cartón. A manera de posible recuperación se presenta la tabla XI.13. Se consideran los precios actuales más bajos en la zona de servicio, lo cual manifiesta que hallando mejores compradores de materiales recuperados sería mayor la cobertura de la Financiamiento.

Tabla XI.13. Recuperación económica en dólares por la venta de materiales.

MATERIAL	PESO A RECUPERAR kg/día	PRECIO POR kg (\$ US)	RECUPERACIÓN DIARIA (\$ US)	RECUPERACIÓN MENSUAL (\$ US)
Vidrio	8,000	0,050	400,00	12,000,00
Plástico	20,000	0,050	1,000,00	30,000,00
Metal	40,000	0,400	1,600,00	48,000,00
Papel y cartón	1,400	0,020	280,00	8,400,00
Compost	20,000	0,050	1,000,00	30,000,00
Total			4,280,00	128,400,00

VII.3.2 Cálculo de la tarifa. Considerando el momento en que se da servicio a toda la población de 200,000 habitantes y que no hay recuperación por venta de materiales.

- Total inversión inicial: \$ 1,318,000,00
- Total gastos explotación y mantenimiento: \$ 148,000,00 /mes

Establecimiento de la tarifa: El costo inicial de inversión se pagará en 10 años con un incremento anual por intereses del 10 %, lo cual resulta en:

- \$ 144,980,00 en el primer año,
- \$ 159,478,00 en el segundo año,
- \$ 175,425,80 en el tercer año,
- \$ 192,968,38 en el cuarto año,
- \$ 212,265,21 en el quinto año,

y así sucesivamente hasta el año 10.

La fórmula de cálculo de la tarifa es la referida en el apartado XII.3.4 del subcapítulo 11.1:

$$T = C + (W \cdot B \cdot K) \quad \text{Donde:}$$

- C: Cuota por servicio (se afecta por un factor de zona urbana)
- W: Generación de RSU por habitante
- B: Costo base por kg de RSU
- K: Coeficiente de ponderación por generación de residuos

Recuperación anual: Se establece que la cantidad anual a recuperar Rt es:

\$ 144,980,00 por pago de la inversión inicial más \$ 1,776,000,00: \$ 1,920,980,00.

Los porcentajes de participación de la cuota de servicio se distribuyen en 4 niveles, de acuerdo a los tipos de áreas urbanas establecidos, por lo que resultan cuatro tarifas:

Tipo A: 5.38 % de la población aporta el 125 % de la parte por hab que le corresponde.

Tipo B: 63.00 % de la población aporta el 100 % de la parte por hab que le corresponde.

Tipo C: 8.64 % de la población aporta el 75 % de la parte por hab que le corresponde.

Tipo D: 22.98 % de la población aporta el 50 % de la parte por hab que le corresponde.

Cuota de servicio. Si la recuperación por cuota de servicio Rc, se establece en 70 %

$$Rc = \$ 1,920,980,00 \times 0.70 = \$ 1,344,686,00$$

de los cuales cada tipo de población paga una cuota calculada de acuerdo a un factor de ponderación estimado en función del nivel socioeconómico de la población u otros factores. En este caso, aplicando las ecuaciones de primer grado entre porcentajes de población y los factores, se obtienen los factores de ponderación. Para ello se consideran las siguientes igualdades:

$$Ca + Cb + Cc + Cd = 100 \% \quad (\text{el total de la recaudación por cuota de servicio})$$

$$Pa + Pb + Pc + Pd = 100 \% \quad (\text{el total de la población por fracciones poblacionales})$$

$$PaFa + PbFb + PcFc + PdFd = 100 \% \quad (\text{el total de la población afectada por los factores de ponderación})$$

Los factores de ponderación en función del factor que es igual a 1 (Fb), de acuerdo al porcentaje de aportación económica por zona urbana:

$$Fa = 1.25Fb, \quad Fb = x, \quad Fc = 0.75Fb, \quad y \quad Fd = 0.50Fb$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores, resulta:

F: Factor de ponderación	Relación entre factores	Valor del factor de ponderación
Fa	1.25 Fb	1.425
Fb	Fb	1.14
Fc	0.75 Fc	0.855
Fd	0.50 Fb	0.57

Por lo que el porcentaje de cuota P de cada población se haya multiplicando la fracción poblacional de cada zona urbana por el factor de ponderación anterior; y la cuota C por habitante y mes multiplicando este porcentaje de cuota P por la cuota anual por servicio Rc. Entonces:

$$Pa = 5.38 \times 1.425 = 7.67 \%, \quad Ca = \$ 1,344,686,00 \times 0.0767 = \$ 103,137,41 \text{ ó } \$ 8,594,78/\text{mes}, \text{ o por persona} = 8,594,78/10,760 \text{ hab.} = \$ 0.799 / \text{hab. mes}$$

$$Pb = 63.00 \times 1.14 = 71.82 \%, \quad Cb = \$ 965,753,48 \text{ ó } \$ 80,479,46 / \text{mes}, \text{ o por persona} = \$ 0.639 / \text{hab. mes}$$

$P_c = 8.64 \times 0.855 = 7.40 \%$, $C_c = \$ 99,506,76 \text{ ó } \$ 8,292,23 / \text{mes}$, o por persona = \$ 0.48 / hab. mes

$P_d = 22.98 \times 0.57 = 13.11 \%$, $C_d = \$ 176,288,33 \text{ ó } \$ 14,690,69 / \text{mes}$, o por persona = \$ 0.32 / hab. mes

Recuperación facturada. La recuperación facturada equivale al 30 % del total, es decir: \$ 576,294,00 y K se hace igual a 1 al principio del plan.

La cual dividida entre el total de residuos sólidos generados por año da el costo por kg, esto es: \$ 576,294,00 / 75,920,000 kg año = \$ 0.00759 / kg de RSU

que multiplicado por los 31.2 kg/hab. mes resulta: \$ 0.24/mes persona

La tabla XI.14 muestra el concentrado de la Cuota de servicio y la Cuota facturada, en la que se ha considerado la generación media de RSU de 1.04 kg/hab. día ó 31.20 kg/hab. mes. Además se estima que en cada vivienda habitan un promedio de 4 personas.

Tabla XI.14 Concentrado de datos para el calculo de la tarifa por tipo de zona urbana.

Población	Cuota de servicio anual	Población	\$ mensual / persona	RSU/mes (kg/persona)	Cuota mes facturada	Tarifa (\$/mes)	
						Hab.	4 hab.
A	102,170,99	10,760	0.799	31.20	\$0.24/pers.	1.04	4.16
B	956,704,17	126,000	0.639	31.20	\$0.24/pers.	0.88	3.52
C	98,574,37	17,280	0.48	31.20	\$0.24/pers.	0.72	2.88
D	174,636,47	45,960	0.32	31.20	\$0.24/pers.	0.56	2.24
Total	1,344,686,00	200,000	0.56	31.20	\$0.24/pers.	0.80	3.20

En la tabla anterior se observan las diferencias en las tarifas para cada una de las zonas urbanas.

La última fila muestra el valor de la tarifa si se empleara el promedio, en ese caso, la población de bajos recursos estaría pagando lo mismo que la de mayor nivel socioeconómico, lo cual pudiera afectar la participación de este último sector de la población, al no poder sufragar el costo del servicio. Por lo que se establece la tarifa diferenciada.

La tarifa anteriormente calculada corresponde al primer año de funcionamiento del sistema de gestión integral de residuos, la cual deberá calcularse cada año. Entonces el valor de K puede aplicarse también de forma diferenciada por tipo de población servida o por otros factores que se ocurran durante el periodo.

VII.4 Implantación orgánica, técnica, administrativa y legal. Se debe efectuar de acuerdo a la guía metodológica.

VII.5 Control y evaluación de resultados. Acorde a la guía metodológica. Es indispensable establecer convenios con las empresas y universidades participantes. Para el caso particular, el Instituto Tecnológico de Minatitlán cuenta con guías aptas para la conformación de la colaboración con los ayuntamientos municipales.