

Gestión Integral de Residuos Sólidos en Regiones Insulares

Gestión Integral de Residuos Sólidos en Regiones Insulares



GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN REGIONES INSULARES

Enero 2014

Directores del Programa

Lauren Spurrier

Gerente, Programa Marino Pesquero, WWF-US

Eliécer Cruz

Director Ecorregional, Programa Galápagos-WWF

Autores

Ing. Marcelo Castillo, Asesor Externo

Ulf Torsten Hardter, Ph.D, Oficial de Gestión Ambiental, WWF Programa Galápagos

Edición

Irma Larrea Oña (WWF-US)

Fotografía de portada

Isla Santa Cruz, Galápagos. © WWF / Jean Claude Constant

Diseño e impresión

aheditorial@andinanet.net

Cómo citar esta publicación:

Castillo M. y Hardter U., (2014) Gestión integral de residuos sólidos en regiones insulares.

Ed. Irma Larrea Oña. WWF y Toyota, Galápagos, Ecuador. X pp.

Copyright Nº 043126

© (2014) WWF. Todos los derechos reservados por WWF-Ecuador

ISBN 978-9942-924-01-8

La fuente debe citarse en todos los casos. Partes de esta publicación pueden reproducirse sin autorización escrita previa si se cita la fuente. Para la reproducción total de esta publicación, WWF debe ser notificado con anticipación.

Publicado en Quito, Ecuador por WWF © 2014

Todos los derechos reservados para WWF

Impreso en papel con certificación FSC

	Índice
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1	
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	11
1. Conceptos de residuos sólidos	11
2. Sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos	13
3. Componentes de la Gestión Integral de Residuos Sólidos	14
4. Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos	16
5. Aspectos legales	17
CAPÍTULO 2	
ESTUDIOS DE CALIDAD Y CANTIDAD DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	19
1. Metodologías de caracterización de los residuos sólidos	20
2. Metodología de muestreo estadístico	21
2.1 Normas mexicanas para el muestreo de los residuos sólidos	22
2.1.1 Determinación de la Producción Per Cápita (PPC)	22
2.1.2 Método de cuarteo	26
2.1.3 Peso volumétrico	27
2.1.4 Clasificación de subproductos	27
2.2 Método sencillo de análisis de basuras	28
3. Metodología de pesaje total	30
CAPÍTULO 3	
ANÁLISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN Y BARRIDO	33
1. Definición de indicadores para la gestión del sistema de aseo	34
2. Obtención de información de las hojas de ruta	35
2.1 Obtención de información de hojas de ruta de recolección	36
2.2 Obtención de información de hojas de ruta de barrido	40
2.3 Obtención de información de hojas de ruta de disposición final	43
3. Estudios de tiempos y movimientos	45
3.1 Tiempos y movimientos de recolección	45
3.2 Tiempos y movimientos de barrido	48
CAPÍTULO 4	
ALMACENAMIENTO TEMPORAL	53
1. Definición de parámetros para el diseño del almacenamiento temporal	53
1.1 Dimensionamiento del almacenamiento temporal	53
1.2 Tipos de recipientes de almacenamiento	55
1.3 Aspectos legales sobre el almacenamiento temporal	57

CAPÍTULO 5

BARRIDO DE CALLES Y PLAYAS	59
1. Definición del grado de limpieza	59
2. Tipos de barrido	60
3. Dimensionamiento del barrido	61
4. Diseño de las microrrutas de barrido	65

CAPÍTULO 6

RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	69
1. Parámetros de diseño del servicio de recolección de residuos sólidos	69
1.1 Cantidad de residuos a recolectar	71
1.2 Tipos de residuos a recolectar	71
1.3 Frecuencia y horario del servicio	72
1.4 Distancias a recorrer y jornada de trabajo	73
1.5 Tipo de equipos de recolección y cuadrilla de trabajo	73
2. Dimensionamiento y diseño del servicio de recolección	76
3. Costos del servicio	83

CAPÍTULO 7

DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS	87
1. Procesos al interior del relleno sanitario	88
2. Conceptos de relleno sanitario	90
3. Tipos de rellenos sanitarios	91
4. Componentes del relleno sanitario	93
5. Dimensionamiento del relleno sanitario	95
6. Ubicación del relleno sanitario	97
7. Diseño del relleno sanitario	99
7.1 Diseño de celdas y plataformas	99
7.2 Diseño del manejo de lixiviados	101
7.3 Generación y manejo de biogás	104
7.4 Tratamiento de lixiviados	105
8. Operación del relleno sanitario	107
8.1 Ingreso al relleno sanitario	109
8.2 Ingreso al frente de trabajo	109
8.3 Celda de operación	109
8.4 Control de vectores	114
8.5 Cerca viva y cerramiento del relleno sanitario	114
8.6 Medidas de control	115
8.7 Mantenimiento	115
8.8 Capacitación	115

CAPÍTULO 8	
MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	117
1. Principios y estrategias	118
CAPÍTULO 9	
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS	123
1. Reutilización de residuos sólidos	123
2. Reciclaje	124
3. Caracterización de la basura	125
4. Sistemas manuales de separación de materiales	128
5. Sistemas mecanizados de separación de materiales	128
6. Dimensionamiento de la separación de materiales	131
CAPÍTULO 10	
TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS	137
1. Compostaje	139
1.1 Proceso de compostaje y dimensionamiento	139
CAPÍTULO 11	
CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN DEL MAR POR LOS BUQUES	147
1. Objetivo y estructura del Convenio Internacional MARPOL	148
2. MARPOL, Anexo V: Contaminación por basura	148
CAPÍTULO 12	
MANEJO DE DESECHOS EN ISLAS OCEÁNICAS: EL CASO DE LAS ISLAS GALÁPAGOS	151
1. Estudio de caso: Sistema Integral de Manejo de Desechos en la Isla Santa Cruz, Galápagos - Ecuador	153
1.1 Caracterización de residuos sólidos en la Isla Santa Cruz	157
1.2 Almacenamiento temporal de residuos en la Isla Santa Cruz	159
1.3 Recolección de residuos en la Isla Santa Cruz	161
1.4 Barrido en la Isla Santa Cruz	164
1.5 Parque Ambiental Fabricio Valverde	166
1.5.1 Área de reciclaje	166
1.5.2 Área de compostaje	168
1.6 Disposición final de residuos	169
1.6.1 Características del relleno sanitario de la Isla Santa Cruz	171
1.7 Campaña de educación sobre prácticas de reciclaje en la Isla Santa Cruz	174
1.8 Lecciones aprendidas en la Isla Santa Cruz	175
1.8.1 Sostenibilidad	176
BIBLIOGRAFÍA	179
ÍNDICE DE TABLAS	182
ÍNDICE DE GRÁFICOS	183
ÍNDICE DE GRÁFICOS	184





© WWF/Jean Claude Constant

WWF ha venido desarrollando por varios años consecutivos diversos proyectos relacionados con educación sobre energías renovables y ha apoyado una serie de proyectos para mejorar la situación ambiental de las

Islas Galápagos, tales como la recolección y reutilización de aceites, y la implementación de un plan de manejo integral de residuos sólidos.

Introducción

Desde el año 2006, WWF, con el apoyo de Toyota, ha colaborado con el Gobierno Municipal de Santa Cruz en el mejoramiento del sistema de manejo integral de desechos sólidos y reciclaje en la Isla Santa Cruz a través de la donación de contenedores de tres colores para separación de los desechos, la contratación de un especialista en manejo de desechos para que asesore al Municipio, el desarrollo de una campaña de educación sobre prácticas de reciclaje y la contratación de un experto en gestión ambiental asignado al Municipio. Además, en el año 2008, donó un camión recolector compactador de desechos, una báscula camionera con los aditamentos necesarios y un equipo para tratamiento de los residuos orgánicos a través de la elaboración de compost, y brindó asistencia técnica para el fortalecimiento en la gestión de manejo de desechos de Santa Cruz. Adicionalmente, ha apoyado diversas actividades relacionadas al manejo de desechos y reciclaje en las Islas San Cristóbal e Isabela.

WWF, con el apoyo de Toyota, también contrató una serie de diagnósticos, estudios de factibilidad, estudios de impacto ambiental, diseños de rellenos sanitarios, etc. para avanzar hacia una gestión integral del manejo de los desechos en las Islas Galápagos. En marzo de 2010, WWF y Toyota produjeron conjuntamente un documento titulado “Plan de Manejo de Desechos para las Islas Galápagos” que se elaboró como una herramienta para orientar a los municipios de Galápagos para que busquen alcanzar la sostenibilidad técnica, financiera y social que les permita lograr una completa y eficiente recolección de todo tipo de desechos a través de reducciones significativas en las cantidades de desechos generados mediante efectivos programas de minimización de desechos. Dichos programas incluyen: 1) eliminación de desechos en la fuente; 2) mejora de las actividades de reciclaje existentes; y, 3) desarrollo de opciones de reciclaje, tratamiento y eliminación de otros tipos de desechos.

La visión de WWF y Toyota es que para el año 2020 se implemente un sistema integrado de reciclaje y manejo de desechos en todas las islas habitadas de Galápagos. El sistema asegurará una completa y eficiente recolección de todo tipo de desechos, con reducciones significativas en las cantidades de desechos generados a través de efectivos programas de minimización de desechos que incluyan eliminación de desechos en la fuente, mejora de las actividades de reciclaje existentes y desarrollo de opciones de reciclaje, tratamiento y eliminación para otros tipos de desechos.

A través de este documento, WWF y Toyota esperan difundir aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con los diferentes componentes de un sistema de manejo de residuos sólidos, así como compartir la experiencia adquirida en la Isla Santa Cruz, como un ejemplo práctico que podría ser replicado en otras regiones del mundo.

OBJETIVO

El objetivo general de este documento es contribuir al manejo adecuado de los residuos sólidos en regiones insulares brindando experiencias y metodologías de gestión de manejo de estos residuos, en sus diferentes fases. Está dirigido a tomadores de decisiones y a técnicos encargados del manejo de desechos en regiones insulares.

También se espera que al difundir el caso de la Isla Santa Cruz, en Galápagos, Ecuador, se contribuya a que en algunas locaciones insulares se migre de un servicio básico o convencional hacia una gestión integral que contemple todas las fases del servicio, tomando en cuenta actividades asociadas al control de la generación, a la separación, almacenamiento, recolección, transporte, barrido, tratamiento y disposición final, dentro de las condiciones particulares que presenta una región insular.

AUDIENCIA OBJETIVO

Este documento está dirigido a las poblaciones ubicadas en regiones o territorios insulares y, especialmente, a las que habitan en islas pequeñas en países en vías de desarrollo que, en la mayoría de los casos, carecen de recursos técnicos y económicos para el manejo adecuado de los residuos sólidos. Esa falta de recursos viene acompañada de la degradación ambiental de territorios que generalmente se caracterizan por su biodiversidad y riqueza paisajística únicas.

Las islas son porciones de terreno que sobresalen de la superficie de cuerpos hídricos como mares, lagos, ríos y que se encuentran totalmente delimitadas por agua. Aunque los tamaños de las islas varían mucho unos de otros, los posibles usuarios del presente documento son los habitantes de islas que tienen poblaciones de hasta 50.000 habitantes, independientemente del tamaño físico de las islas.

Generalmente, las islas o grupos insulares en el trópico gozan de la presencia de abundante y singular biodiversidad que es altamente vulnerable a las actividades humanas. Esto ocurre, sobre todo, porque las poblaciones asentadas en islas requieren de recursos naturales para su supervivencia y búsqueda del desarrollo (no necesariamente sostenible) y, a la vez, generan diariamente emisiones, efluentes y residuos que requieren de un adecuado manejo para no afectar la riqueza natural de las islas.

El tema del espacio es especialmente crítico en las islas habitadas de menor tamaño porque todas las actividades deben desarrollarse tomando en cuenta la ocupación más eficiente del espacio para satisfacer la demanda de áreas de futura expansión urbana, áreas de abastecimiento y facilidades, áreas protegidas o reservas naturales, y áreas destinadas al tratamiento de efluentes y disposición final de los residuos sólidos. En la realidad de los países en vías de desarrollo se observa que la planificación del uso del suelo es desordenada, no existen criterios de ordenamiento territorial ni sistemas de tratamiento de los efluentes líquidos y, generalmente, se observa botaderos a cielo abierto como destino final de las basuras generadas, lo que degrada el ambiente y puede causar posibles afecciones a la salud de los seres humanos.

Otra de las principales carencias en las regiones insulares que impacta la vida de sus moradores, es la disponibilidad de agua dulce en características y cantidades necesarias para la vida humana. En este sentido, y dependiendo del origen de la región insular,¹ la presencia de contaminantes (por ejemplo, descarga de aguas servidas, basura o la presencia de lixiviados producto de la degradación de los residuos orgánicos en los botaderos de basura) afecta en diferente grado la posibilidad de obtener agua dulce, llegando en determinados casos a hacerla inviable para el consumo humano.

Otros problemas se generan por la presencia de fauna endémica e introducida que se alimenta de los residuos en los basurales, y la quema no controlada de los residuos, lo que tiene impactos ambientales adversos.

Finalmente y no menos importantes son las bajas coberturas de los servicios de recolección y barrido, que ocasionan que cantidades importantes de residuos sólidos queden en las calles y ocupen lotes baldíos, depresiones naturales del terreno o incluso tengan como destino el mar, con las negativas consecuencias que esto representa para el ambiente.

1 Las islas pueden ser de tipo continental, volcánico, origen coralino, sedimentario y fluvial. Generalmente, las islas habitadas pertenecen al tipo continental y volcánico.





© WWF/Jean Claude Constant

CAPÍTULO 1

Gestión Integral de Residuos Sólidos

1. Conceptos de residuos sólidos

Se considera como residuos a aquellos materiales cuyo poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido, semisólido, líquido o como gases contenidos en recipientes, y que pueden ser susceptibles de recibir tratamiento o disposición final de conformidad con lo que establecen las regulaciones ambientales de cada país o región (GTZ, 2006).

Usualmente en todas las actividades humanas se genera residuos, en distintas cantidades, características y con diversos riesgos para la salud humana y el ambiente.

Hay diferentes maneras de clasificar los residuos sólidos:

- Origen
- Características físicas, químicas y biológicas
- Cantidad generada
- Nivel de peligrosidad

Según su origen, los residuos pueden ser domiciliarios o domésticos, industriales, hospitalarios, provenientes de procesos constructivos o de actividades comerciales, etc. El origen de los residuos generalmente marca las características físicas, químicas y biológicas que posean y por ende su peligrosidad y forma de manejo. Así mismo, en determinados procesos se genera residuos que, si bien de acuerdo a su origen y composición no presentan características para un manejo especial, pueden representar problemas para su manejo por las grandes cantidades generadas y podrían requerir un manejo especial.

En general, a los residuos sólidos urbanos (RSU) se los asocia con los residuos originados en domicilios, oficinas, mercados, restaurantes, etc. Una definición al respecto indica que son:

los generados en las casas de habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques;

los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos. (Congreso de la Unión de Estados Mexicanos, 2003).



Los otros tipos de residuos sólidos generados que pueden considerarse de manejo especial “son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos” (Congreso de la Unión de Estados Mexicanos, 2003). Bajo este tipo de residuos encontramos:

- Escombros
- Lodos de plantas de tratamiento, sin presencia de sustancias peligrosas
- Residuos no peligrosos de procesos industriales
- Residuos no peligrosos generados en grandes cantidades, por ejemplo más de 10 ton/año

Los residuos considerados peligrosos son aquellos que cumplen una o más de las siguientes características:

- Corrosividad
- Reactividad
- Explosividad
- Toxicidad
- Inflamabilidad
- Biopeligrosos

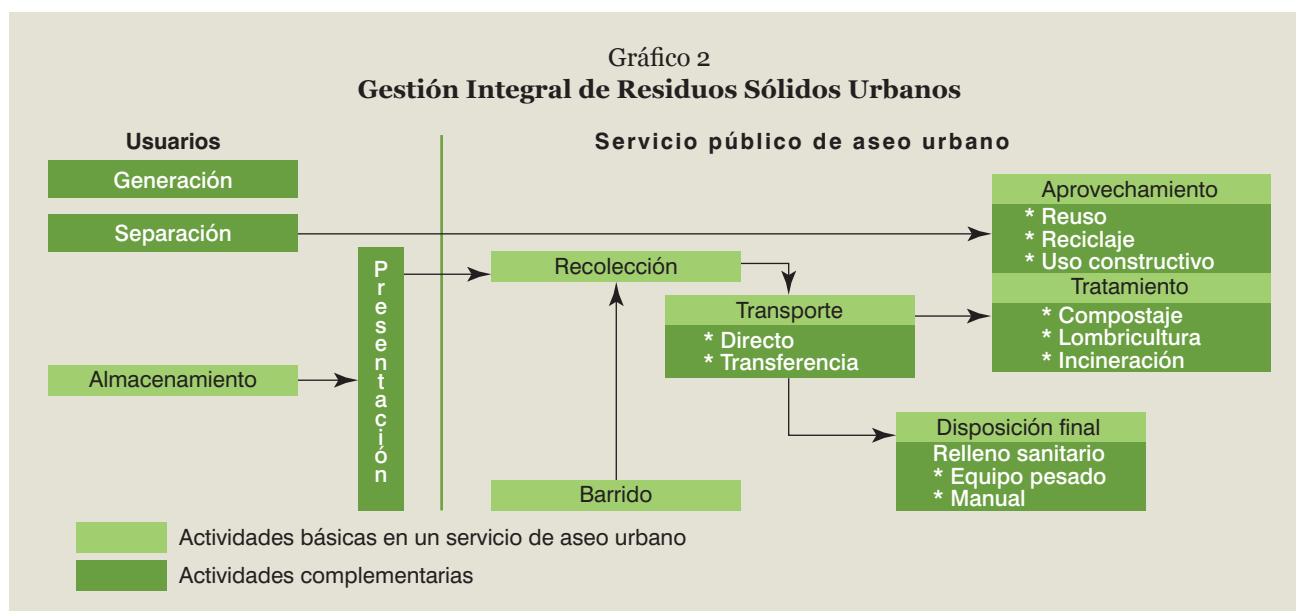
Por facilidad para recordar, se utiliza el acrónimo CRETIB, que contiene la primera letra de las características indicadas en el listado anterior.² Este tipo de residuos requiere un manejo especial en todas sus fases.

² Congreso de la Unión de Estados México. 2007. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Última Reforma DOF 19-06-2007. Art. 5, fracción XXXII. México.

2. Sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Un término utilizado en los últimos años en el tema del manejo de los residuos sólidos es gestión integral. Este término es a menudo malentendido ya que generalmente se lo asocia con la implementación de iniciativas de reciclaje que se incorporan a un sistema convencional de aseo, cuando en la realidad consiste en una articulación de los diversos componentes de un servicio de aseo, con una visión holística del servicio.

En el Gráfico 2 se muestra la concepción de un sistema integral de residuos sólidos, incorporado a un sistema básico de manejo (Jaramillo, 2002).



Un concepto ampliamente utilizado sobre Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos es:

La gestión integral de RSU consiste en toda una serie de actividades asociadas al control de la generación, separación, presentación, almacenamiento, recolección, transporte, barrido, tratamiento y disposición final, a fin de que (1) se armonicen con los mejores principios de la salud pública, la economía, la ingeniería y la estética y otras consideraciones ambientales, y (2) respondan a las expectativas públicas. (Jaramillo, 2002).

Otro concepto sobre Gestión Integral, enuncia:

Gestión Integral de Residuos es el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región. (Congreso de la Unión de Estados Mexicanos, 2003).

Como se observa en los conceptos citados, existe esa visión global de los diferentes componentes del servicio de aseo enfocados a objetivos superiores como: evitar afectaciones a la salud de los habitantes de una localidad, beneficios ambientales, aceptación social, y ahorro en la economía. Todos estos objetivos deben entenderse como procesos ajustados a la realidad de cada localidad, cuyo desarrollo responda a una construcción participativa que involucre a la comunidad beneficiaria del servicio y que tome en cuenta las fortalezas y debilidades locales existentes.

3. Componentes de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)

De lo anteriormente expuesto, se diferencia un sistema básico de aseo que incluye los siguientes componentes:

- Almacenamiento de residuos
- Servicio de recolección
- Servicio de barrido
- Transporte
- Disposición final

Dependiendo de las características de cada país y de la zona, se podría decir que como mínimo las actividades básicas descritas han sido implementadas y están en funcionamiento. Sin embargo, también es cierto que en la mayoría de los casos, en regiones en vía de desarrollo estos componentes adolecen de una serie de problemas como bajas coberturas debido al bajo rendimiento de los equipos de trabajo; y falta de criterio técnico en la toma de decisiones. Esto encarece los costos del servicio que generalmente son subsidiados por los gobiernos municipales. Por ejemplo, se ha dado el caso en algunas locaciones que al optimizar los servicios de recolección se ha obtenido ahorros que han permitido la implementación de rellenos sanitarios u otros componentes del sistema de aseo. Así mismo, otro problema y tal vez el más importante radica en la disposición final de los residuos que en muchos de los casos consiste en botaderos a cielo abierto, sin ningún tipo de infraestructura ni operación.

Por tanto, el hecho de migrar a un sistema de gestión integral presenta un salto cualitativo y cuantitativo en el manejo de los residuos sólidos, que pretende un manejo racional de estos, a través de la incorporación de nuevas acciones como:

- Normas que soporten la operatividad y sostenibilidad del nuevo sistema
- Aspectos operativos de optimización de los servicios en todos sus componentes
- Aspectos financieros de recuperación de costos
- Adecuada planificación y administración del nuevo sistema
- Inclusión de aspectos sociales, al incorporar a la comunidad como actor clave en el funcionamiento y sostenibilidad del servicio.

A su vez, dependiendo de la realidad de cada localidad, puede darse la incorporación de nuevos componentes en el servicio de aseo como son:

- Control de la generación de residuos (minimización)
- Separación de residuos en la fuente de generación, en concordancia con la recolección diferenciada
- Presentación de los residuos sólidos, en los recipientes de almacenamiento indicados por las normas técnicas establecidas, en el horario y días de servicio del servicio de recolección
- Recolección diferenciada de los residuos
- Incorporación de transferencia para reducir costos de transporte, en caso de requerirse
- Implementación de sistemas de aprovechamiento de los residuos sólidos, a través del reuso, separación y reciclaje de materiales para posterior procesamiento que pueden usarse como materia prima en procesos productivos e incluso como materiales de construcción.
- Tratamiento de residuos orgánicos, transformándolos en mejoradores de suelo como compost a través del proceso de compostaje, o humus con un sistema de lombricultura.
- Un relleno sanitario con todos los componentes de infraestructura y manejo que este tipo de instalación requiere y en cumplimiento con todas las normativas legales de cada región y país, dado que una disposición final adecuada es *sine qua non* de un sistema GIRS

Se puede resumir lo indicado en la **Tabla 1**, que contempla los componentes deseados de una GIRS.

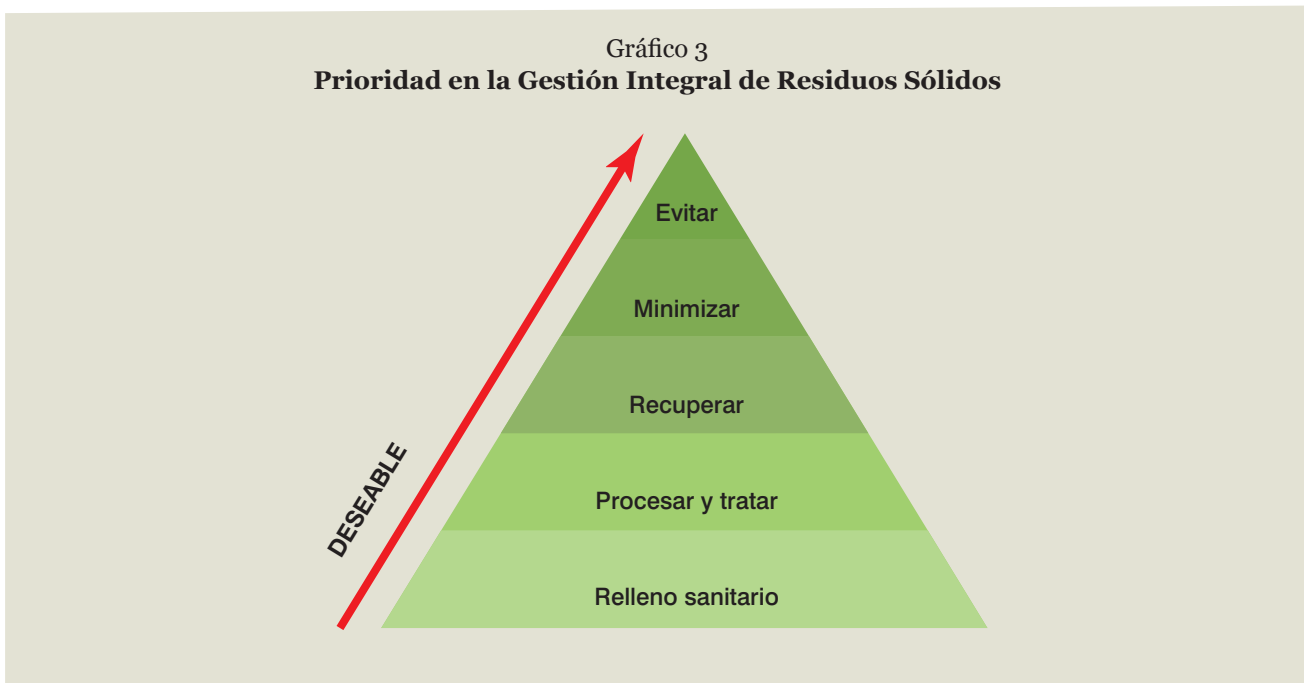
Tabla 1. **Características deseadas de la GIRS**

TEMAS	CARACTERÍSTICAS DESEADAS
Generación	Existencia de políticas y normas que propician la minimización de residuos como normas de empaques de productos, incentivo a la reutilización de envases, y su aplicación por parte de la población.
Operativo	Sistema debidamente planificado y diseñado de manera técnica en los diferentes componentes del servicio de aseo, que permita la optimización de equipos y recurso humano, de fácil implementación y control con colaboración ciudadana.
Social	Ciudadanos informados e involucrados en un manejo adecuado de los RSU, participando activamente desde la separación en la fuente hasta el pago de las tarifas que requiere la sostenibilidad financiera del servicio.
Comercial	Existencia de un catastro actualizado del servicio, adecuada definición de tasas y tarifas que cubran los costos reales totales del servicio, adecuado sistema de facturación y recaudación.
Administrativo	Adecuado manejo del sistema, con una eficiente gestión del personal y de atención al cliente, con una planificación y manejo técnico del servicio, en función de optimizar los costos del servicio y brindar un servicio de calidad.
Financiero	Implementación de sistemas de costos por componente del servicio y manejo de indicadores, que permita los menores costos reflejados en tarifas que deben ser cubiertas por la comunidad atendida.
Salud y ambiente	Cumplimiento de la normativa local y nacional en los temas de salud y ambiente, tanto de la salud ocupacional de los trabajadores de aseo como de los requisitos de licenciamiento ambiental y planes de manejo ambiental de cada componente del servicio.
Legal	Existencia de normativa actualizada que sostiene legalmente los componentes del servicio en armonía con el marco legal regional y nacional.

4. Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Un sistema de GIRS plantea un nuevo enfoque en la denominada jerarquía del manejo de residuos sólidos al transformar las prioridades de los diferentes componentes del servicio de aseo, para precautelar la salud pública y evitar la contaminación.

El Gráfico 3 muestra la jerarquización de prioridades de un sistema de GIRS.



Este orden de prioridad establece un nuevo enfoque en la toma de decisiones que las instituciones y encargados de los servicios deben enfrentar, en función de su realidad local y conociendo sus fortalezas y limitaciones. No existen recetas de aplicación universal o medidas infalibles que garanticen el éxito, más bien el objetivo perseguido debe ser abordado de manera flexible en los tiempos posibles y con los recursos existentes.

Lo que puede ser un aporte en el camino a recorrer son las recomendaciones y análisis de casos exitosos o no, en los cuales se puede obtener lecciones aprendidas que aporten a la toma de decisiones en las acciones a emprenderse.

Otro factor, que sin lugar a dudas debe ser abordado, es la obtención de información sobre los residuos sólidos y los componentes del servicio, para que sirva de base para planificar y desarrollar el plan a implementarse.

5. Aspectos legales

Cada país tiene establecida una jerarquía de su marco jurídico. El marco legal relacionado a la aplicación del servicio para los diversos componentes del sistema de aseo y mejor aún si se agrupa en un solo cuerpo legal, es de importancia básica para la operación y sustento del sistema de aseo, debiendo contener entre otros los siguientes temas principales:

- Compatibilidad del marco legal local con los cuerpos legales de mayor jerarquía
- Principios rectores para la prestación del servicio como universalidad de la prestación, compromiso de la institución de mantener un manejo ambiental acorde al marco legal, búsqueda de la autosostenibilidad financiera, etc.
- Definición de roles y responsabilidades, donde se establezca los actores claves del servicio, el rol que deben cumplir, y sus derechos y obligaciones dentro del servicio de aseo
- Establecimiento de los componentes del servicio incluyendo modalidades de operación, tipos de recipientes a utilizarse, frecuencias, horarios, etc.
- Definición y establecimiento de tipos de infracciones según su gravedad, sanciones por incumplimiento de las normas operativas planteadas e incentivos a realizarse por la aplicación de buenas prácticas con el servicio
- Definición de tarifas del servicio de aseo, sugiriéndose el establecimiento de una metodología de reajuste automático, tal como fórmulas de reajuste de precios, índices de precios al consumidor o tablas salariales, para que su actualización sea permanente

Las ordenanzas o leyes locales brindan el sustento legal a la operación del servicio en base a la planificación realizada. Especial interés debe darse al tema tarifario que debe ser establecido en base a los costos reales del servicio y que permitiría la sostenibilidad financiera del servicio.





© WWF/Jean Claude Constant

CAPÍTULO 2

Estudios de calidad y cantidad de los residuos sólidos

Las tipologías de los residuos sólidos y las cantidades generadas son diferentes entre los países, entre las ciudades de un mismo país, y en un mismo centro poblado se presentan variaciones en diferentes épocas del año. Estas diferencias dependen de las distintas costumbres de la población, de las actividades y políticas económicas, del clima, de las estaciones, de los hábitos alimenticios, y de otras condiciones locales que se modifican año tras año.

Dado que la materia prima de trabajo en un sistema de aseo son los residuos sólidos generados en una ciudad, se requiere conocerla en detalle, tanto en lo relacionado al tipo de residuos que se generan, como a las características que poseen. Estos son parámetros básicos para el sistema de aseo, dado que se puede obtener la siguiente información:

- Conocer la cantidad aproximada de residuos sólidos que genera cada usuario del servicio permite determinar el volumen requerido de los recipientes de almacenamiento domiciliarios, basados en la frecuencia del servicio. También, hace posible dimensionar el tamaño de la flota vehicular necesaria para servir a esos usuarios, y estimar las dimensiones del sistema de tratamiento y el área requerida para la disposición final de los residuos sólidos.
- En el caso de los medianos y grandes generadores, tales como mercados, centros comerciales, etc., conocer la cantidad de residuos que estos generan es igual de importante para diseñar los contenedores para almacenamiento de los residuos y los vehículos que realizarán el transporte hacia el sitio de tratamiento o relleno sanitario.
- Determinar la composición de los residuos y sus principales características como humedad, peso aparente, y poder calorífico para

tener parámetros para decidir qué y cuánto se podría reciclar, hacer compost, así como las medidas a tomarse en cuenta en el relleno sanitario.

Por lo descrito, para mantener un adecuado servicio es imprescindible conocer parámetros de diseño relacionados con la cantidad y composición de los residuos sólidos, para lo cual se ha desarrollado una serie de metodologías, denominadas generalmente como caracterización, muestreo, o estudios de calidad y cantidad de los residuos sólidos.

Es importante definir el objetivo de los estudios del muestreo o de la caracterización utilizando la metodología más adecuada según el tipo de información que se desee obtener para cada caso, y tomando en cuenta los recursos humanos y económicos disponibles, que podrían ser uno de los limitantes para la realización de este tipo de estudios.

1. Metodologías de caracterización de los residuos sólidos

Entre las principales metodologías utilizadas para este tipo de estudios, se puede mencionar las siguientes (Runfola José, 2009):

- a. Método de muestreo estadístico:** Esta metodología selecciona aleatoriamente una cantidad de muestras, determinadas en base a la confiabilidad que se quiera dar al muestreo, durante varios días consecutivos, hasta una semana. El peso generado por muestra y una media muestral representativa del sector analizado es entonces determinada. El muestreo estadístico también permite determinar la composición de los residuos y el peso volumétrico de los mismos.
- b. Método de pesaje total de residuos:** Este método determina la cantidad total de residuos generada, así como un estimado de la generación por cada tipo de usuario, siempre y cuando tenga una recolección separada por tipo de generador (por ejemplo: mercados, industrias, etc.). Esta metodología sistematiza los registros de pesaje de las básculas instaladas en las estaciones de transferencia así como de los rellenos sanitarios. Requiere del conocimiento certero de las zonas atendidas así como de la población existente en cada una de ellas, por lo que debe ir acompañada de un estudio de las rutas de recolección.
- c. Método de balance de masas:** Este método establece de manera cuantitativa y cualitativa los insumos utilizados (materias primas, agua, energía, etc.), los productos obtenidos, y los residuos generados para un proceso o servicio. El principio general de este análisis consiste en que todos los insumos que ingresan en un proceso u operación salen ya sea como productos o como residuos (Chile, 2005).

Gráfico 4
Balance de masas



Como se observa en el Gráfico 4, el método de balance de masas es bastante preciso y generalmente tiene una buena confiabilidad, pero a su vez requiere mucha información. En el caso de las variables involucradas en un proceso de manejo de residuos sólidos, a veces no es posible obtener la mayoría de la información, por lo que más bien se aplica a nivel de procesos industriales.

Existen otras metodologías, que han sido desarrolladas para casos específicos donde se requiere determinar el flujo de algún tipo especial de residuos, así como metodologías desarrolladas por investigadores para casos de estudio en algunas ciudades. En el presente documento analizaremos las dos primeras metodologías mencionadas.

2. Metodologías de muestreo estadístico

Este método de caracterizaciones es comúnmente utilizado a nivel regional, puesto que se basa en la disponibilidad de personal para los procesos de pesado y clasificación. Existen dos modelos de esta metodología. El primero es el normado por la Legislación Mexicana, y consta en normas técnicas vigentes, desarrolladas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en 1985.

El segundo, denominado *Método sencillo del análisis de la basura*, fue desarrollado por el Dr. Kunitoshi Sakurai, y publicado en español en 1983 por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria de la Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS).

Por ser estas las dos metodologías más utilizadas, a continuación se describe cada una de ellas y, como estudio de caso, se detalla la experiencia realizada en la Isla de Santa Cruz, en Galápagos, Ecuador.

2.1 Normas mexicanas para el muestreo de los residuos sólidos

Esta metodología está descrita en detalle en las siguientes normas técnicas mexicanas:

- NMX-AA061-1985, donde se norma el procedimiento para la obtención de la producción per cápita (PPC), medida en kg/persona/día.
- NMX-AA015-1985, que reseña la preparación de la muestra a través del método de cuarteo para los análisis de clasificación de subproductos, peso volumétrico y toma de muestras para análisis químico de los residuos sólidos.
- NMX-AA019-1985, referente a la metodología para determinar el peso volumétrico de los residuos.
- NMX-AA022-1985, para determinar subproductos.

Un resumen del procedimiento a seguirse, conforme a la aplicación de las normas señaladas, se describe a continuación.

2.1.1 Determinación de la Producción Per Cápita (PPC)

a) Ubicación de zonas a muestrearse

En un plano de la ciudad se deberá ubicar a los principales generadores de residuos sólidos, así como a los principales estratos socioeconómicos existentes. Un ejemplo de lo mencionado se muestra en el Gráfico 5.



Se debe tomar en cuenta que se requeriría realizar muestreos de varios barrios o sectores de un mismo estrato socioeconómico para obtener un valor promedio representativo del mismo. Por ello, en ciudades pequeñas, en algunos casos se podría hacer una simplificación y asumir un solo estrato en toda la zona a estudiarse.

b) Definición del tamaño de la muestra

Conforme se detalla en la norma, se debe especificar el riesgo de la muestra a realizarse, por cada estrato, dado que:

$$100\% = \text{Confiabilidad} + \text{Riesgo}$$

Esto es, a mayor riesgo (∞), menor la confiabilidad de los resultados. A su vez, a mayor confiabilidad, se debe tomar un número mayor de muestras, lo que se refleja a su vez en mayores costos del muestreo.

Según la norma NMX-AA061-1985, se debe tomar como referencia una cantidad n de muestras, conforme a la Tabla 2.

Tabla 2
Tamaño de la pre-muestra

RIESGO (XXX)	TAMAÑO DE LA PRE-MUESTRA (N)
5%	115
10%	80
20%	50

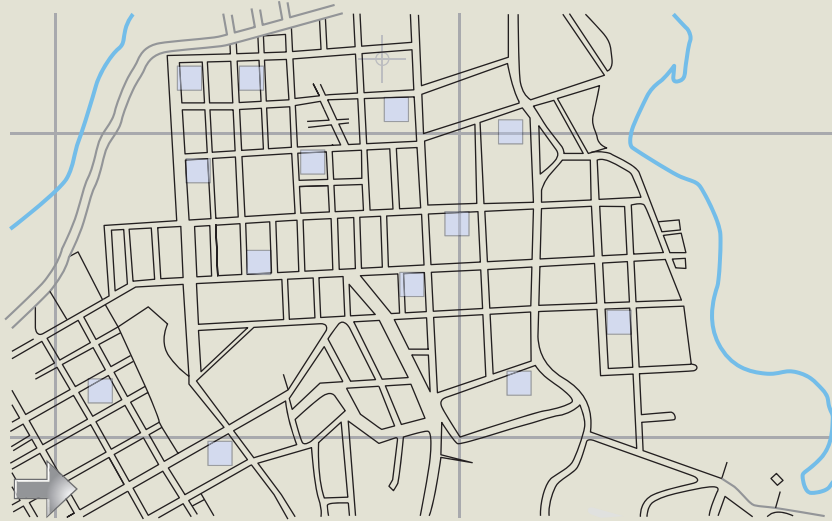
Por ejemplo, para un estudio que se requiere hacer con una confiabilidad del 90% ($\infty = 10\%$), se requeriría una pre-muestra de 80 unidades. Generalmente en campo, se toma un número adicional de muestras como medida de seguridad, dado que durante el período de muestreo se pueden perder algunas muestras afectando a la confiabilidad del estudio. Al finalizar esta parte del estudio, se realiza una comprobación de la confiabilidad en base al número de muestras válidas obtenidas del muestreo.

c) Definición de la ubicación de las muestras

Una vez determinada la cantidad de muestras a tomarse, se las ubica en el universo de trabajo. Para esto, se debe numerar todas las manzanas del área de estudio, seleccionándose al azar. Para la selección aleatoria de las manzanas se podría utilizar una tabla de números aleatorios, un método de sorteo o incluso comandos de generación de números aleatorios de hojas electrónicas.

Una vez seleccionadas las manzanas, se toma una sola vivienda para que sea objeto del estudio.

Gráfico 6
Ejemplo de selección aleatoria de manzanas



d) Encuesta y obtención de muestras

Con las muestras ubicadas en el plano de trabajo, se inicia la fase de campo, con una entrevista a los habitantes de la vivienda seleccionada al azar. Se explica la razón de los estudios y se solicita la colaboración por el lapso de tiempo que dura el muestreo. Generalmente, se utiliza esta entrevista para realizar una encuesta respecto a la situación del servicio y a otros temas que pueden ser de interés para mejorar el mismo. Un dato clave en la encuesta es averiguar la cantidad de personas que habitan la vivienda y quiénes son las que generan los residuos a ser pesados.

La Norma Mexicana recomienda un período de muestreo de siete días, donde se realizan las siguientes actividades.

Como se observa en la Tabla 3, en el día 2 se desecha la muestra para garantizar que la basura a pesarse desde el día siguiente corresponda a un solo día. Por eso el pesaje comienza realmente desde el día 3. Se entrega una funda plástica de 0,70 x 0,50 m, desde el día de la entrevista hasta el día 6 para que el usuario deposite ahí los residuos. Se debe hacer énfasis en la colaboración durante el período de muestreo, mencionando que no se entregue la funda al vehículo que realiza la recolección. Se debe establecer un horario de recolección de la muestra que no incomode al entrevistado.

El valor pesado de la funda (utilizando básculas de hasta 10 kg, con precisión de 1 gr.), se registra durante el período de muestreo y al final del mismo se obtiene el promedio de la vivienda, que se lo divide para la cantidad de personas que habitan la vivienda, obteniéndose el valor representativo de esa muestra en kg/persona/día.

Tabla 3
Cuadro de actividades para período de muestreo

ACTIVIDAD	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	DÍA 9
Entrevista y entrega de funda	X								
Eliminación de la muestra		X							
Pesaje de la muestra y cuarteo			X	X	X	X	X	X	X

e) Procesamiento de la información y comprobación de la confiabilidad

La norma mexicana NMX-AA061-1985 especifica en detalle el análisis estadístico que se hace de los datos obtenidos de PPC de cada vivienda, comenzando con el rechazo de los valores más altos y más bajos obtenidos, que pueden distorsionar los valores medios representativos de la muestra. Para esto se utiliza el criterio de rechazo de Dixon, que analiza y rechaza los valores extremos tanto superiores como inferiores.

Con los valores válidos se obtiene la media muestral y se realiza la comprobación del tamaño real de la muestra, para la confiabilidad deseada. Para esto utiliza el método denominado “t de Student”. La expresión utilizada para este cálculo es:

$$n_1 = \left(\frac{t \times S}{E} \right)^2$$

Donde:

- n_1 = Número real de muestras
- t = Percentil de la distribución “t” de Student, obtenido de tablas en función de la confiabilidad del muestreo
- S = Desviación estándar de las muestras válidas (la desviación estándar mide cuánto se distancian los datos de la media muestral)
- E = Error muestral asumido entre: 0,4 y 0,7 kg/persona/día

Al comparar el valor real de las muestras para la confiabilidad esperada (n_1) con el tamaño de la pre-muestra (n), se puede determinar los siguientes casos:

- Si $n_1 = n$, se acepta el tamaño de la pre-muestra y no se requiere mayor cantidad de muestras para alcanzar la confiabilidad esperada.
- Si $n_1 < n$, la confiabilidad de la muestra puede ser llevada a un valor mayor que la confiabilidad inicialmente esperada, por lo que no se requiere muestras de campo adicionales.
- Si $n_1 > n$, se requiere más muestras de campo, hasta que por lo menos n sea igual a n_1 , para alcanzar la confiabilidad esperada.

Finalmente, para determinar si la media muestral es semejante a la media del estrato en estudio, la norma mexicana utiliza el método de la hipótesis nula. Para el procesamiento de la información obtenida de las muestras, las hojas electrónicas presentan una serie de herramientas que facilitan el proceso de cálculo.

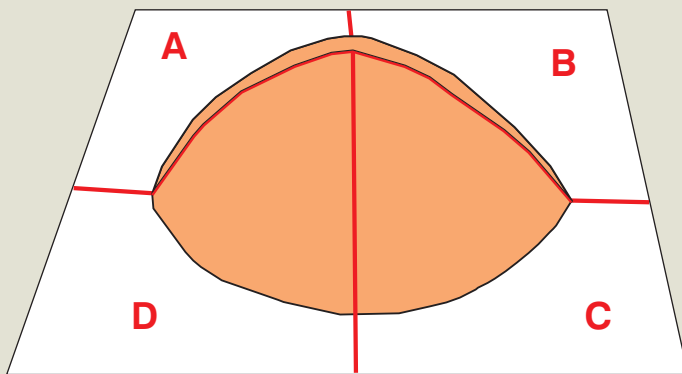
2.1.2 Método de cuarteo

Luego de pesar las bolsas plásticas que contenían las muestras de las viviendas seleccionadas, se procede a la realización del método de cuarteo, aplicando la norma NMX-AA015-1985.

Este método consiste básicamente en la preparación de las muestras para las restantes determinaciones a realizarse. La norma recomienda la utilización de un sitio bajo techo, con ventilación adecuada y piso con revestimiento para evitar la contaminación de la muestra.

Una vez pesadas las bolsas y registrado el valor en los formularios de campo, se las transporta al sitio del cuarteo, donde se las rompe y se mezclan los residuos, formando un montón homogeneizado de los residuos sólidos. Se procede a separarlo en cuatro porciones. Con las porciones opuestas se procede a la determinación del Peso Volumétrico (porciones A y C) y la Clasificación de Subproductos (porciones B y D).

Gráfico 7
Cuarteo de las muestras



2.1.3 Peso volumétrico

El peso volumétrico de los residuos sólidos representa el peso de la basura por unidad de volumen y es un parámetro de mucha utilidad para conocer el volumen en base al peso y viceversa. Para esta determinación se utiliza la norma NMX-AA019-1985.

Como se detalla en la norma, para este fin se necesita un recipiente de volumen conocido, donde se deposita los residuos sin compactarlos hasta el borde del recipiente. Se debe golpear el recipiente contra el suelo, por tres veces desde una altura aproximada de 10 centímetros y nuevamente se lo vuelve a enrasar, sin presionar el contenido del tanque. Finalmente, se registra el peso del tanque vacío y con los residuos. La fórmula de cálculo es:

$$P_v = \frac{P}{V}$$

Donde:

- P_v = Peso volumétrico “in situ” en kg/m³
- P = Peso neto (Peso total – Peso del tanque) en kg
- V = Volumen del recipiente en m³

2.1.4 Clasificación de subproductos

Esta metodología permite cuantificar en peso los diferentes componentes de los residuos sólidos, para eso sirven las porciones seleccionadas en el método de cuarteo mencionado, siendo la muestra mínima de 50 kg. Se procede a realizar una clasificación manual de los subproductos o materiales presentes en la basura. La lista de clasificación de materiales de acuerdo a la norma NMX-AA022-1985 es la siguiente:

- Algodón
- Cartón
- Cuero
- Residuo fino (todo material que pase malla de 1 centímetro)
- Envase de cartón encerado
- Fibra dura vegetal (esclerénquima)
- Fibras sintéticas
- Hueso
- Hule
- Lata
- Loza y cerámica
- Madera
- Material de construcción
- Material ferroso
- Material no ferroso
- Papel
- Pañal desechable
- Plástico rígido y de película
- Poliuretano

- Poliestireno expandido
- Residuos alimenticios y residuos de jardinería
- Trapo
- Vidrio de calor
- Vidrio transparente
- Otros

Para la separación de elementos finos se utiliza una zaranda de 1 m² de área y con malla de 1 centímetro. Una vez separados los materiales, se procede a pesarlos en balanzas granatarias de 20 kg de capacidad y sensibilidad de 1gr para proceder a calcular el porcentaje de participación de cada material en la muestra, para lo cual se usa la siguiente expresión:

$$P_s = \frac{G_s}{G} \times 100$$

Donde:

- P_s = Porcentaje del subproducto considerado
- G_s = Peso del subproducto considerado en kg
- G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg)

Se debe resaltar que al sumar los diferentes porcentajes de los subproductos, el resultado debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

2.2 Método sencillo de análisis de basuras

Este método simplificado desarrollado por el Dr. Kunitoshi Sakurai plantea unas tablas para la determinación del número de muestras a tomarse en cada estrato socioeconómico, en base a la confiabilidad y al error muestral asumido.³

El Dr. Sakurai propone la siguiente expresión para el cálculo del número de muestras:

$$n = \frac{V^2}{\left[\frac{E}{1,96}\right]^2 + \frac{V^2}{N}}$$

Donde:

- n = Número de muestras a tomarse aleatoriamente en el estrato en cuestión
- V = Desviación estándar de variables x_i
(x_i : PPC de la vivienda i en gr/persona/día)
- E = Error permisible en la determinación de la PPC
(gr/person/día)
- N = Número total de viviendas del estrato en estudio

3 <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/rapidisc/publica/hdt/hdt017.html>

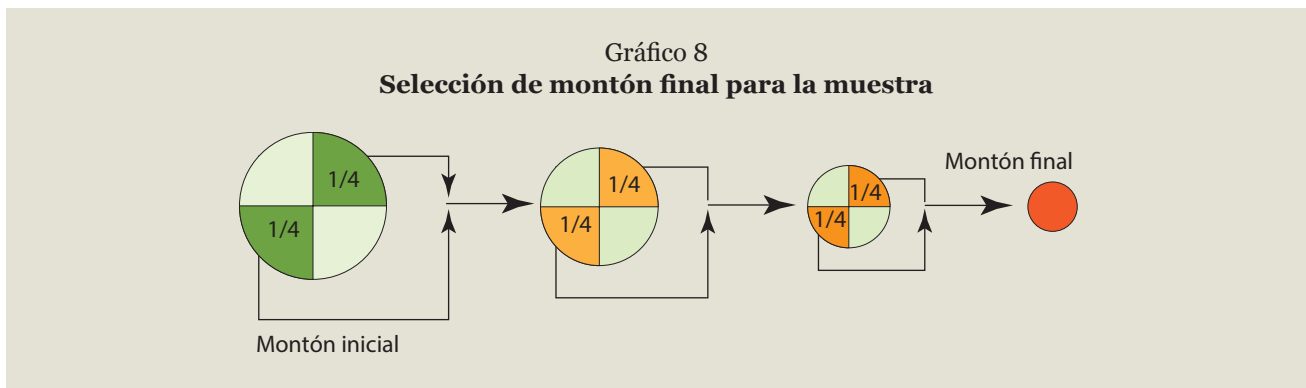
Si no se ha realizado estudios de PPC con anterioridad, el Dr. Sakurai recomienda asumir un valor de 200 gr/persona/día para E; la desviación estándar V puede ser entre 50 a 250 gr/persona/día; y a mayor desviación estándar, mayor cantidad de muestras.

Para obtener la producción per cápita total establece una media ponderada, tomando en cuenta el peso de los residuos generados y los habitantes en cada uno de los estratos muestreados.

En cuanto a la determinación del peso volumétrico o densidad de los residuos, el Dr. Sakurai establece una metodología semejante a la norma mexicana para el caso de los residuos sueltos y establece pasos a seguirse para el caso de los residuos recién compactados en el relleno, así como para la basura estabilizada en el relleno.

Para la determinación de subproductos o composición física, sugiere el siguiente procedimiento:

- Tomar una muestra de aproximadamente 1 m³, y vertirla formando un montón en un lugar pavimentado.
- Romper las bolsas plásticas, cortar cartones y maderas hasta un tamaño aproximado de 15 x 15 centímetros.
- Homogeneizar toda la muestra, dividir en cuatro partes, escoger dos partes opuestas y separarlas hasta obtener una muestra aproximada de 50 kg, conforme el Gráfico 8.



- Separar los materiales siguientes:
 - Papel y cartón
 - Trapos
 - Madera y follaje
 - Restos de alimentos
 - Plástico, caucho y cuero
 - Metales
 - Vidrios
 - Suelo y otros

Finalmente, se pesan los residuos separados y se obtiene el porcentaje que representan del total. Adicionalmente, el Dr. Sakurai hace recomendaciones para obtener el valor de la humedad de los residuos sólidos y su poder calorífico.

3. Metodología de pesaje total

Esta metodología requiere la existencia de estaciones de pesaje de los vehículos recolectores y mejor aún si existen datos históricos que permitan dar más certeza a los valores obtenidos. Para el caso de poblaciones pequeñas, donde no cuenta con instalaciones de pesaje propias, se podría acudir a empresas privadas que cuenten con una balanza para pesaje de camiones.

Se debería tener un pesaje por lo menos de una semana, para obtener valores representativos. Así mismo, se necesita el trazado de la ruta, levantada en campo, delimitando la zona atendida por cada ruta de recolección. Por supuesto, es básico conocer la población contenida en ese sector, o por lo menos la densidad poblacional existente.

Gráfico 9
Ejemplo de zona a muestrearse



El cálculo a realizarse es el siguiente:

$$ppc = \frac{P}{H}$$

Donde:

- ppc = Es la producción per cápita del sector en kg/persona/día
- P = Peso promedio recolectado diariamente en kg/día
- H = Población del sector atendido por esa ruta

Para obtener el dato de la densidad poblacional, la expresión de cálculo sería:

$$ppc = \frac{P}{Dp \times A}$$

Donde:

- ppc = Es la producción per cápita del sector en kg/persona/día
- P = Peso promedio recolectado diariamente en kg/día
- Dp = Densidad población en habitantes por hectárea
- A = Área atendida en hectáreas

Para realizar la clasificación de subproductos o la composición física se puede optar por el método del Dr. Sakurai, hasta obtener una muestra significativa de 50 kg, conforme a lo indicado.





© WWF / Diego Anazco

CAPÍTULO 3

Análisis de tiempos y movimientos del servicio de recolección y barrido

Otro elemento que es muy importante considerar al diseñar un sistema de GIRS es el conocimiento y manejo de indicadores relacionados con los componentes de barrido y recolección. El conocimiento y manejo de indicadores cobra mucha importancia si se toma en cuenta que, en general, el costo del servicio de recolección y barrido representa entre el 70 y el 80 por ciento del costo global de los servicios de aseo. Entonces, se vuelve imprescindible el manejo de un sistema integrado de indicadores de la gestión de residuos sólidos, que sea de fácil implementación, que permita a los tomadores de decisiones actuar de manera oportuna y eficiente para mantener los estándares de calidad del servicio y medidas de protección ambientales, y a los planificadores del servicio contar con parámetros de diseño y control de la operación.

De manera general, se podría esquematizar la necesidad del conocimiento y manejo de indicadores con el axioma “Saber lo que pasa, para saber cómo actuar”. En la mayoría de entidades responsables del manejo de los residuos sólidos se tiene una imagen o idea del funcionamiento de sus sistemas de aseo, pero ¿cuánto de esa imagen es realidad? o ¿qué tan equivocados están?

A manera de ejemplo, en un sistema de manejo de residuos sólidos, el encargado del sistema debería disponer de la siguiente información:

- Cobertura del servicio de recolección
- Costo por tonelada recolectada
- Rendimiento del barrido
- Número y tipo de usuarios
- Etcétera

Por lo tanto, se debe conocer la forma de obtener información, de calcular y de interpretar determinados indicadores que reflejan la situación del servicio.

Uno de los caminos más adecuados para saber la realidad de la gestión de cualquier proceso productivo es incorporar el criterio de indicadores de eficiencia de las actividades realizadas, o por lo menos de un sistema estadístico de valores promedios manejados que permitan reflejar por medio de valores numéricos “lo que está pasando”.

Un indicador es un valor que representa el estado de situación en un determinado proceso o actividad. Existe una infinidad de indicadores desarrollados para medir o referenciar las múltiples actividades que se realizan en los diferentes campos de la actividad humana. Los siguientes son ejemplos de varios tipos de indicadores de clasificación aplicada al tema de residuos sólidos:

- Indicadores de calidad y cantidad
- Indicadores de cobertura
- Indicadores de eficiencia
- Indicadores de costo
- Indicadores de actitud del personal

1. Definición de indicadores para la gestión del sistema de aseo

Es importante señalar que el sistema de indicadores propuesto por sí solo no cambia o mejora de manera automática la gestión de los sistemas de aseo de las ciudades, sino que es una herramienta que permite a los encargados del sistema de aseo “saber lo que realmente pasa” en los componentes de su sistema. Con este conocimiento de la situación real de su servicio, los tomadores de decisiones podrán adoptar alternativas para optimizar, cambiar, replantear y, sobre todo, tratar de lograr la sostenibilidad técnica y económica de sus sistemas o cambiar a otros modelos de gestión más convenientes para su interés y los de la comunidad que atienden.

En cualquier caso, el mejoramiento de la gestión depende de la voluntad política de los tomadores de decisiones de cambiar o aplicar estrategias, dependiendo del caso o la necesidad, basados en datos reales de su gestión, proporcionados de manera permanente y oportuna.

Los indicadores más utilizados para los servicios de aseo, se presentan a continuación:

a) Indicadores de recolección - rutas:

- NR:** Número de viajes
- TOJ:** Tiempo oficial de la jornada
- TRJ:** Tiempo real de la jornada
- PTJ:** Porcentaje útil de la jornada.
- TU(v):** Tiempo útil por viaje
- TU(r):** Tiempo útil de la ruta

TM(v): Tiempo muerto o de tránsito por viaje
TM(r): Tiempo muerto de la ruta
KTR(r): Distancia total recorrida en la ruta
KMR(v): Kilometraje en recolección del viaje
KMU(r): Kilometraje útil o en recolección de la ruta
KMT(r): Kilometraje en tránsito (muerto) de la ruta
PRC(v): Peso o tonelaje recolectado por viaje
PRC(r): Peso o tonelaje recolectado por ruta
TPK: Toneladas por kilómetro en ruta
TPH: Toneladas por hora
EFR: Eficiencia del equipo de recolección
EFP: Eficiencia del personal de recolección
Vr: Velocidad de recolección en ruta
Vt: Velocidad de recolección en tránsito
UST: Costo tonelada recolectada

b) Indicadores de barrido:

KMS: Kilómetros barridos
TOB: Tiempo oficial de la jornada
TRB: Tiempo real de la jornada
PTB: Porcentaje útil de la jornada
TUB: Tiempo promedio útil de la ruta
TMB: Tiempo promedio muerto de la ruta
KKB: Cantidad total de desechos de barrido
KHB: Promedio de kilómetros/persona por día
CKB: Promedio del costo por kilómetro barrido

c) Indicadores de disposición final:

- Porcentaje de basura depositada sanitariamente
- Tonelaje total dispuesto
- Número de horas de trabajo del equipo de disposición final
- Cantidad de personas que laboran en la disposición final
- Costo por tonelada/dispuesta

La información para el cálculo de los indicadores mencionados puede obtenerse mediante dos métodos ampliamente usados que son la implementación de hojas de ruta, y los estudios de tiempos y movimientos.

2. Obtención de información de las hojas de ruta

La hoja de ruta es un formulario de campo que se llena de manera rutinaria en cada jornada de trabajo para las tareas de recolección, de barrido y de disposición final.

2.1 Obtención de información de hojas de ruta de recolección

Un ejemplo de una hoja de ruta para obtención de indicadores y control del servicio de recolección, se muestra a continuación.

MUNICIPIO DE _____

HOJA DE RUTA DE RECOLECCIÓN:

AQUÍ SELLO

FECHA: _____ L M Mi J V S D

RUTA: _____ ZONA SERVIDA: _____

FRECUENCIA: _____ HORARIO: _____

VEHÍCULO: RECOLECTOR CARGA POSTERIOR: DISCO: _____

RECOLECTOR CARGA FRONTAL: COMBUSTIBLE: GAL. _____

VOLQUETA: GASOLINA:

CANTER: DIESEL:

OTRO: _____

CUADRILLA: _____

TIPO DE DESECHOS RECOLECTADOS:

DOMICILIAR

MERCADOS

INDUSTRIAS

BARRIDO

OTROS: _____

DATOS DE VIAJES, TIEMPOS Y DISTANCIAS

NÚMERO DE VIAJES:		TIEMPO	KILOMETRAJE	PESO (KG) O COMPACTACIONES	OBSERVACIONES
SALIDA DEL GARAGE:					
VIAJE 1	INICIO				
	FIN				
DESCARGA 1					
VIAJE 2	INICIO				
	FIN				
DESCARGA 2					
VIAJE 3	INICIO				
	FIN				
DESCARGA 3					
LLEGADA AL GARAGE:					
OBSERVACIONES:					

_____			_____		
FIRMA CHOFER			FIRMA SUPERVISOR		

Esta hoja deberá ser llenada inicialmente por el responsable operativo de los servicios o por el supervisor de la recolección y entregada a los choferes asignados a cada ruta para que registren los datos de los viajes de cada ruta.

La hoja de ruta diseñada cuenta con los siguientes datos.

a) Datos generales

MUNICIPIO DE _____		AQUÍ SELLO
HOJA DE RUTA DE RECOLECCIÓN:		
FECHA: _____	L <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> Mi <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>	
RUTA: _____	ZONA SERVIDA: _____	

Se identifica la fecha, el día de la semana, el código de la ruta, una breve descripción de la zona servida por la ruta, la frecuencia y horario de la ruta servida. Estos datos deben ser llenados por el supervisor de recolección.

b) Datos de la cuadrilla y equipo

FRECUENCIA: _____	HORARIO: _____
VEHÍCULO: RECOLECTOR CARGA POSTERIOR: <input type="checkbox"/>	DISCO: _____
RECOLECTOR CARGA FRONTAL: <input type="checkbox"/>	COMBUSTIBLE: GAL. _____
VOLQUETA: <input type="checkbox"/>	GASOLINA: <input type="checkbox"/>
CANTER: <input type="checkbox"/>	DIESEL: <input type="checkbox"/>
OTRO: <input type="checkbox"/>	_____
CUADRILLA: _____	

Se identificará con una X el tipo de vehículo que sirve la ruta indicada en el punto anterior. En el campo “disco” se debe incluir la identificación del vehículo. Ejemplo: 014, FORD 15, etc.

Se deberá registrar el tipo de combustible y la cantidad de galones disponibles para la jornada de trabajo.

En la cuadrilla se identificará el número y tipo de personal asignado. Ejemplo: 1 chofer, 3 ayudantes. Si los encargados del sistema de aseo lo decidieren, se podría ingresar los nombres o códigos del personal. Estos datos serán llenados por el supervisor de recolección.

c) Tipo de desechos recolectados

En ciertos casos, puede ser necesario conocer la cantidad de desechos recolectados por tipo de desecho. En dichos casos, se deberá marcar con una X el tipo de desecho recolectado. Esta identificación debe ser lo más clara posible, pues en muchos casos más de un tipo de desecho es recolectado en una misma ruta. Si hay diversos tipos de desechos se podrá marcar más de un casillero.

TIPO DE DESECHOS RECOLECTADOS:	
DOMICILIAR	<input type="checkbox"/>
MERCADOS	<input type="checkbox"/>
INDUSTRIAS	<input type="checkbox"/>
BARRIDO	<input type="checkbox"/>
OTROS:	<input type="checkbox"/> _____

De ser necesario, adicionalmente se puede usar el campo “Otros” indicando algún otro tipo de desecho, no contemplado en los casilleros prediseñados. Por ejemplo: desechos hospitalarios, basura de parques o playas, etc.

d) Datos de viajes, tiempos y distancias

En estos campos, el chofer deberá ingresar los siguientes datos:

DATOS DE VIAJES, TIEMPOS Y DISTANCIAS					
NÚMERO DE VIAJES:		TIEMPO	KILOMETRAJE	PESO (KG) O COMPACTACIONES	OBSERVACIONES
SALIDA DEL GARAGE:					
VIAJE 1	INICIO				
	FIN				
DESCARGA 1					
VIAJE 2	INICIO				
	FIN				

- Número de viajes a realizar en la jornada
- Tiempo de salida del garage en horas, minutos y segundos
- Kilometraje a la salida del garage
- Tiempo y kilometraje de inicio y fin de cada viaje
- Tiempo y kilometraje a la llegada a la disposición final de los residuos
- Peso registrado en la báscula o, en caso de no disponerla, número de compactaciones realizadas durante el viaje. Posteriormente se podrá calcular el peso aproximado recolectado con el número de compactaciones realizadas

- Tiempos y kilometrajes a la llegada al garage una vez terminada la jornada
- En caso de tener observaciones, las registrará en el campo respectivo

e) Observaciones

OBSERVACIONES:	
<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> FIRMA CHOFER	<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> FIRMA SUPERVISOR

El supervisor complementará las observaciones del chofer de ser el caso y tanto chofer como supervisor registrarán sus firmas en la hoja de ruta. Es importante que el supervisor insista ante el chofer que llene apropiadamente la hoja de ruta con letra legible.

Con el sistema implementado, se dispondrá de información inicial que deberá ser procesada para obtener los indicadores del servicio. Luego de varios meses de obtener estos valores, se puede establecer promedios que se transformarán en “tiempos estándar”. Con posterioridad, para evaluar el rendimiento de un día específico, se compararán éstos con el valor estándar y se puede establecer si en ese día se laboró con normalidad o si hubo alguna afectación al rendimiento normal de los vehículos.

Los cálculos a efectuarse se deben realizar en una hoja electrónica y, de manera general, son:

- Número de viajes que cada ruta demanda (NR)
- Tiempo real de la jornada (TRJ), para lo cual se debe obtener la diferencia entre el tiempo de fin de jornada al retorno del último viaje y el tiempo de salida del garage. Al comparar el tiempo real de la jornada con el tiempo oficial, se establece el porcentaje útil de la jornada (PTJ). Si se tienen valores muy bajos de PTJ, se podría pensar en incrementar la zona atendida para un mejor aprovechamiento de la jornada y viceversa
- Tiempos muertos (TM) y kilometrajes muertos (KMT) o de tránsito que se obtienen sumando todos los tiempos y kilometrajes utilizados desde la salida del garage y los empleados en el transporte de los residuos hasta la disposición final y hasta el garage
- Tiempos útiles (TU) y kilometrajes útiles (KMU) que se obtienen sumando los tiempos y kilometrajes desde que se inicia la ruta hasta el fin de la misma, para cada viaje del vehículo de recolección
- Consumos estándar de combustible para cada ruta
- Si se tiene pesajes, la cantidad de basura aproximada por tipo de usuario y la cantidad total recolectada (PRC), se obtiene sumando los pesajes de cada viaje

- Toneladas por kilómetro en ruta (TPK) se obtiene al dividir el pesaje total para la cantidad de kilómetros en la ruta. Este parámetro es muy útil para el diseño de nuevos sectores pues permite prever la longitud de las nuevas rutas para aprovechar de mejor manera el vehículo de recolección
- Toneladas por hora (TPH) resulta de la división de las toneladas totales para el tiempo total útil de la jornada. Al igual que en el caso anterior es muy útil para el diseño de nuevos sectores de recolección
- Eficiencia del equipo de recolección (EFR) resulta de comparar el tonelaje recolectado con la capacidad del vehículo de recolección. Se mide en porcentaje
- Eficiencia del personal de recolección (EFP) resulta de la división de la cantidad total recolectada para la cuadrilla de trabajadores. Se mide en Ton/persona/día
- Velocidad en ruta o de recolección (Vr) se obtiene dividiendo el kilometraje en ruta para el tiempo en ruta
- Velocidad de recolección en tránsito (Vt) se obtiene al dividir los recorridos de tránsito para el tiempo muerto

2.2 Obtención de información de hojas de ruta de barrido

Al igual que para el servicio de recolección, se puede obtener indicadores del servicio de barrido a través de la implementación de una hoja de ruta, como la que se presenta a continuación.

MUNICIPIO DE _____		AQUÍ SELLO
HOJA DE RUTA DE RECOLECCIÓN		
FECHA: _____	L <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> Mi <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>	
RUTA: _____	ZONA SERVIDA: _____	
FRECUENCIA: _____	HORARIO: _____	NÚMERO DE CUADRAS
CUADRILLA: _____		KILÓMETROS SERVIDOS
DATOS DE LA RUTA		
SALIDA DEL CUARTELILLO:	HORA: MINUTO _____	PRODUCCIÓN DE LA RUTA NÚMERO DE CARRETIILLAS O CARRITO DE BARRIDO <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
INICIO DE LA RUTA:	_____	SITIO DE DESCARGA DE LOS DESECHOS: _____ _____
FIN DE LA RUTA:	_____	_____
LLEGADA AL CUARTELILLO:	_____	_____
OBSERVACIONES: _____ _____		
_____ FIRMA SUPERVISOR	_____ FIRMA JEFE DE BARRIDO	

Los campos a llenarse son los siguientes:

a) Datos generales

Los supervisores de barrido deberán llenar esta hoja de control. En esta parte se identificará la ruta y el o los ejes viales servidos. Adicionalmente, el supervisor deberá ingresar el dato de los trabajadores de la cuadrilla. Al finalizar la ruta, se ingresará el número de cuadras o los kilómetros servidos. Cuando las rutas son fijas, los datos que se ingresan en estos campos ya son conocidos.

MUNICIPIO DE _____		AQUÍ SELLO
HOJA DE RUTA DE RECOLECCIÓN		
FECHA: _____	L <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> Mi <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>	
RUTA: _____	ZONA SERVIDA: _____	
FRECUENCIA: _____	HORARIO: _____	NÚMERO DE CUADRAS
CUADRILLA: _____		KILÓMETROS SERVIDOS

b) Datos de la ruta

En esta sección, el supervisor de barrido anotará la hora de salida del cuartelillo o sitio de salida, para luego pasar lista al personal. Posteriormente, con el conocimiento que tiene de las rutas, indagará la hora de inicio de la ruta (se recomienda que por lo menos en un par de ocasiones acompañe a los jornaleros para determinar la hora de inicio de la ruta o el lugar donde los jornaleros inician su actividad de barrido). De igual forma lo hará con la hora de finalización de la ruta.

Una vez que los jornaleros se presenten a pasar lista, anotará la hora de llegada al cuartelillo, e indagará cuántos carritos de barrido o carretillas llenaron durante el recorrido y los sitios de descarga de los mismos. Posteriormente, de ser el caso, anotará las observaciones de la ruta y firmará la hoja de ruta.

Cabe recalcar que, por experiencias en otras ciudades, se sabe que podría darse el caso que una vez que se establecen los tiempos de inicio y fin de ruta los trabajadores pueden no cumplir con estos e indicar que se realizó la jornada. Por eso, es muy importante que se realicen supervisiones aleatorias a las diferentes cuadrillas en la ruta.

Con el sistema implementado, se comenzará a disponer de información que debe ser procesada para obtener los indicadores del servicio, y los indicadores estándar de barrido.

DATOS DE LA RUTA		
	HORA: MINUTO	PRODUCCIÓN DE LA RUTA
SALIDA DEL CUARTELILLO:	_____	NÚMERO DE CARRETIILLAS O CARRITO DE BARRIDO <div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>
INICIO DE LA RUTA:	_____	SITIO DE DESCARGA DE LOS DESECHOS: _____
FIN DE LA RUTA:	_____	_____
LLEGADA AL CUARTELILLO	_____	_____
OBSERVACIONES:		
_____		_____
FIRMA SUPERVISOR		FIRMA JEFE DE BARRIDO

Los cálculos deben realizarse en alguna hoja electrónica y de manera general son:

- Kilómetros barridos (KMS): se debe dibujar la ruta atendida en un plano a escala y de su medición se establece este valor
- Tiempo oficial de la jornada (TOB): es el establecido por la municipalidad u organismo a cargo
- Tiempo real de la jornada (TRB): es la diferencia entre el tiempo de salida del sitio de concentración y la hora de retorno al mismo
- Porcentaje útil de la jornada (PTB): es el cociente entre el TRB y el TOB, y da el valor de utilización de la jornada de trabajo
- Tiempo promedio útil de la ruta (TUB): es el tiempo efectivo utilizado en el barrido, esto es la diferencia entre la hora de inicio de la ruta y la hora de finalización
- Tiempo promedio muerto de la ruta (TMB): es el tiempo utilizado en el transporte de la cuadrilla hasta la zona servida, incluye los tiempos requeridos para vaciar o descargar los residuos barridos
- Cantidad total de desechos de barrido (KKB): se calcula sumando la cantidad de tanques o sacos barridos durante la jornada
- Promedio de kilómetros/persona por día (KHB): este indicador determina el rendimiento de la cuadrilla de barrido y es un parámetro básico para el diseño del barrido

2.3 Obtención de información de hojas de ruta de disposición final

A continuación se muestra una propuesta de hoja de ruta para disposición final.

MUNICIPIO DE _____		AQUÍ SELLO	
HOJA DE DISPOSICIÓN FINAL			
FECHA: _____	L <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> Mi <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>		
EQUIPO: _____ <input type="checkbox"/>	DISCO: _____		
PERSONAL: _____			
DATOS DE USUARIOS Y CANTIDAD DISPUESTA			
USUARIO:	CANTIDAD DE VEHÍCULOS	TONELAJE DISPUESTO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TIPO DE DESECHOS
ASEO MUNICIPAL			
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	_____ _____ _____
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	_____ _____ _____
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	_____ _____ _____
OBSERVACIONES: _____ _____ _____			
_____ FIRMA RESPONSABLE DISPOSICIÓN FINAL			

a) Datos generales de la disposición final

En esta sección, el supervisor del relleno ingresará los datos de fecha, día, equipo utilizado y su identificación, así como del personal asignado al relleno, incluyendo guardiana, supervisión, personal técnico, etc.

b) Datos de usuarios y cantidad dispuesta

En esta sección se estima la cantidad total de desechos depositados en el relleno sanitario o botadero, y se hace una aproximación del tipo de residuos dispuestos en él. Se determina los potenciales usuarios, a más del propio sistema de aseo municipal.

MUNICIPIO DE _____

HOJA DE DISPOSICIÓN FINAL

FECHA: _____ L M Mi J V S D

AQUÍ SELLO

EQUIPO: _____ DISCO: _____

 PERSONAL: _____

El supervisor anotará la cantidad total de vehículos que ingresaron a depositar el tonelaje dispuesto y el tipo de desechos dispuestos para cada usuario del relleno. (En caso de no tener báscula, se podrá hacer una estimación del volumen).

DATOS DE USUARIOS Y CANTIDAD DISPUESTA			
USUARIO:	CANTIDAD DE VEHÍCULOS	TONELAJE DISPUESTO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TIPO DE DESECHOS
ASEO MUNICIPAL			
_____	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	_____ _____ _____
_____	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	_____ _____ _____
OBSERVACIONES:			
_____ _____ _____			
			_____ FIRMA RESPONSABLE DISPOSICIÓN FINAL

El cálculo de los indicadores de disposición final es:

- El porcentaje de basura depositada sanitariamente es el cociente de la cantidad de residuos que llegan al sitio de disposición final versus la cantidad total de residuos generados
- El tonelaje total dispuesto es la sumatoria de los residuos que han transportado todos los vehículos que han accedido al sitio de disposición final
- El número de horas de trabajo del equipo de disposición final es la diferencia de la hora de inicio de actividades con la del fin de la jornada
- La cantidad de personas que laboran en la disposición final se establece tanto los equipos como el personal que laboran en el sitio

3. Estudios de tiempos y movimientos

El estudio de tiempos y movimientos es indispensable para cualquier proceso productivo ya que permite conocer el tiempo observado para el cumplimiento de ese proceso. Además, es la base para obtener los tiempos estándar que permiten conocer el costo real del proceso.

Este estudio es mucho más detallado que el de las hojas de ruta porque realiza un seguimiento de las rutas de recolección y barrido, describiendo en detalle las actividades realizadas. Los indicadores obtenidos a través de este método son mucho más reales y precisos.

Un estudio de tiempos y movimientos busca definir el tiempo estándar en el que una cuadrilla de trabajo realiza una tarea específica, en condiciones normales de trabajo y de esfuerzo.

El estudio de tiempos y movimientos en sistemas de recolección y barrido tiene por objeto determinar indicadores para:

- Determinar parámetros de control que permitan evaluar el rendimiento del personal y detectar problemas de rendimiento o en el sector atendido
- Determinar parámetros de diseño que sirvan para aplicarlos en el diseño de nuevos sectores de características semejantes al estudiado
- Crear una base de datos que refleje el funcionamiento del sistema para toma de decisiones administrativas y operativas

Para este fin, se utilizan formularios de campo para levantar la información.

A continuación se describe la forma de llenado y los cálculos para obtener los indicadores propuestos.

3.1 Tiempos y movimientos de recolección

Para la realización del estudio de tiempos y movimientos se recomienda los siguientes materiales:

- Suficiente cantidad de formularios de campo
- Lápiz
- Tabla apoya manos
- Plano actualizado de la zona a estudiarse
- Reloj digital con medición de horas, minutos y segundos
- Vehículo para seguir al vehículo de la cuadrilla estudiada, con un odómetro para contabilizar los kilómetros recorridos
- Un GPS para el posterior dibujo de la ruta

El formulario de tiempo y movimiento se compone de los distintos campos (ver Tabla 4).

a) Datos generales de la ruta estudiada

ESTUDIOS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS PARA RECOLECCIÓN					
LOCALIDAD:	_____				
RUTA N:	_____				
LEVANTADO POR:	_____				
FECHA:	_____				
CONFORMACIÓN DE LA CUADRILLA:	_____				
FRECUENCIA:	_____				
HORARIO:	_____				
Recolector:	_____				

En esta sección se describe los datos de identificación de la ruta. Esto es: localidad servida (sector, urbanización, zona, parroquia), identificación de la ruta si es por algún número o nombre, responsable del levantamiento y fecha del levantamiento de datos.

Se indica la conformación de la cuadrilla: un chofer y número de ayudantes que la conforman, así como frecuencia de la ruta estudiada y horario del servicio. Se indica el equipo que hace la recolección de la ruta, identificando su disco (número de identificación), marca y tipo de vehículo y, de ser el caso, la cantidad de galones de combustible suministrados para la jornada.

Se recomienda numerar las hojas del estudio para el posterior análisis de los datos. Se utiliza una numeración consecutiva de las hojas de campo respecto a la cantidad total de ellas.

b) Datos de tiempos y movimientos

En la sección de datos de campo del formulario se puede distinguir las siguientes columnas:

- Inicio de ruta, con dos columnas, la una T y la otra sombreada L. En la primera se registra el valor del tiempo calculado; y en la segunda, el valor de la lectura de campo. Para el caso del ejemplo que se indica a continuación, la lectura del tiempo de inicio de ruta es 13:13:30

INICIO DE		PARA		INICIO DE		KM INICIAL	KM FINAL	DISTANCIA	VAL. TRÁNSITO	OBSERVACIONES
T	L	T. Útil	L	T. Muerto	L					
	13:13:30					0,00				SALE DEL TALLER
	13:13:30			00:08:16	13:21:46	3,60				INICIA LA RUTA (BY PASS MONUMENTO A BONILLA). RECOGE CONTENEDORES
		00:04:14	13:26:00	00:01:48	13:27:48					
		00:00:35	13:28:23	00:00:20	13:28:40					GIRA DERECHA CIUDADELA 24 DE MAYO
										CALLE MANABÍ
		00:03:00	13:31:40	00:00:20	13:32:00	5,20				COMPACTA
		00:06:35	13:38:35	00:00:43	13:39:18	5,70				COMPACTA GIRA IZQUIERDA

- Las líneas sombreadas correspondientes a L son las lecturas de campo, mientras que en las columnas T se indica el valor del tiempo entre las lecturas L
- Para el caso del ejemplo se ha iniciado la actividad de recolección en la lectura 13:21:46, la diferencia de tiempo corresponde a un tiempo muerto o de tránsito desde que el vehículo sale del garage hasta que inicia la ruta, 8 minutos con 16 segundos
- Posteriormente, según el ejemplo, el vehículo se detiene, deja de recolectar o transita en 13:26:00. La diferencia entre el tiempo en que paró e inició las actividades fue un tiempo útil o de recolección, correspondiendo a 4 minutos con 14 segundos
- El llenado del formulario consiste en anotar las lecturas de inicio de las actividades de recolección y las lecturas en las cuales inicia el tránsito o para de recolectar por cualquier motivo
- Todo tiempo utilizado en recolectar se calcula y registra bajo la columna de tiempo útil
- Todo tiempo utilizado en tránsito, problemas de tráfico, es calculado y registrado en la columna de tiempos muertos
- Al final del estudio se establece sumatorias de todas las hojas y se obtiene la cantidad de tiempo útil y muerto
- En la columna kilometraje inicial se anota la lectura del kilometraje cuando se inicia la ruta. Generalmente se pone en cero la cuenta de kilómetros y se va registrando las lecturas de kilometraje conforme se necesite
- En caso de no poder poner en cero el odómetro, se registra en la columna kilometraje final para, por diferencia, establecer el kilometraje recorrido, el mismo que se registra en la columna de distancia
- En caso de ser necesario o requerirse el dato, se puede registrar la velocidad en tránsito, en la columna respectiva
- En la columna de observaciones se registran todos los datos de interés para el estudio y sobre todo la trayectoria del vehículo para, en gabinete, poder dibujar la microrruta o recorrido realizado. Se registra también las compactaciones, ubicación de montones, etc.

Adicionalmente, en el formulario hay una sección para anotar cualquier elemento extraño a las actividades comunes del servicio, tal como accidentes, daños del vehículo, y obstrucciones en la vía. Para estos casos se registra el tiempo de inicio y fin de estos y el tiempo calculado se suma al tiempo muerto.

El cálculo de los indicadores en base al formulario indicado se muestra en los anexos de tiempos y movimientos realizados en cada estudio.

3.2 Tiempos y movimiento de barrido

Al igual que para en el numeral anterior, se muestra a continuación la forma de llenado y cálculo del formulario de tiempos y movimientos de barrido.

a) Datos generales de la ruta estudiada

ESTUDIOS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS PARA RECOLECCIÓN
LOCALIDAD: _____ RUTA N: _____ LEVANTADO POR: _____ FECHA: _____ CONFORMACIÓN DE LA CUADRILLA: _____ FRECUENCIA: _____ HORARIO: _____ Recolector: _____

En esta sección se describe los datos de identificación de la ruta. Esto es: el o los ejes viales a servirse (plazas, parques o mercados), la identificación de la ruta si es por algún número o nombre, el responsable del levantamiento de datos, y la fecha del levantamiento de datos.

Se indica la conformación de la cuadrilla: número de jornaleros que la componen, frecuencia de la ruta estudiada y horario del servicio.

b) Datos de tiempos y movimientos

CROQUIS	INICIO DE ACTIVIDAD EN		PARA EN:		OBSERVACIONES
	T. Útil	L	T. Muerto	L	
		04:30:30			GARAGE MUNICIPAL
		04:42:20	00:12:20		INICIA LA RUTA 1 . Esquina Chile y Bolivia
					Bajan Chile hasta Francia.
					Barren Francia en intersecciones hacia la izquierda hasta
					Se barren las dos cunetas.
					En Av. De la Unidad Nacional barren cunetas, vías férreas.
					Barren Francia en intersecciones hasta los Argentinos.

- En el espacio a la izquierda, se dibuja el croquis de la ruta, indicando nombres de calles y detalles de interés para el estudio
- El criterio de las columnas de tiempo y lectura funciona igual que para la recolección. Esto es: bajo L las lecturas de tiempo determinadas en campo, cuando se detiene o inicia el barrido; bajo T. útil el valor calculado del tiempo en actividades de barrido; y en T. muerto el valor calculado del tiempo en tránsito
- Para la determinación del kilometraje se dibuja la ruta en un plano a escala apropiada y se determinan las distancias barridas y en tránsito
- En la columna de Observaciones se indica las calles recorridas, veces que se llena el carrito de barrido, sitio donde descargan, etc.
- La sección de elementos extraños tiene igual uso que para la recolección

El resultado de esta determinación se resume en el siguiente cuadro donde se recomiendan algunos valores considerados como estándar y en la columna de observaciones la fórmula de cálculo de los indicadores.

LOCALIDAD: _____ RUTA N: _____ LEVANTADO POR: _____ FECHA: _____ CONFORMACIÓN DE LA CUADRILLA: _____ FRECUENCIA: _____ HORARIO: _____ Recolector: _____					
CÓDIGO	INDICADOR	VALOR OBTENIDO	UNIDAD	VALOR ESTANDAR	OBSERVACIONES
1	Tiempo oficial de la jornada	6:00:00	HORAS	A establecerse en cada ciudad	CONTRATO COLECTIVO
2	Tiempo real de la jornada	5:02:37	HORAS	Obtenido del estudio de tiempos y	DIFERENCIA DEL TIEMPO DE SALIDA DEL GARAGE Y LLEGADA
3	Porcentaje laborado de la jornada	84,1%	%	SOBRE EL 90%	CUOCIENTE 2/1
4	Número de viajes	1		A establecerse en cada ciudad	
5	Tiempo útil	2:48:24	Hora:min:seg	Obtenido del estudio de tiempos y	SUMATORIA DE TIEMPOS ÚTILES
6	Porcentaje tiempo útil	55,6%	%	SOBRE EL 60%	CUOCIENTE DE 5/2
7	Tiempo muerto o tránsito	2:14:13	Hora:min:seg	Obtenido del estudio de tiempos y	SUMATORIA DE TIEMPOS MUERTOS
8	Porcentaje tiempo muerto o en tránsito	44,4%	%	MENOS DEL 40%	CUOCIENTE DE 7/2
9	Distancia total recorrida	39,00	KM	Obtenido del estudio de tiempos y	DATO MEDIDO EN CAMPO
10	Kilometrajes en ruta	13	KM	Obtenido del estudio de tiempos y	DATO MEDIDO EN CAMPO
11	Porcentaje kilometraje en ruta	33,3%	%	SOBRE EL 50%	CUOCIENTE DE 10/9
12	Kilometraje en tránsito	26,00	KM	Obtenido del estudio de tiempos y	DATO MEDIDO EN CAMPO
13	Porcentaje kilometraje en tránsito	66,7%	%	MENOS DEL 50%	CUOCIENTE DE 12/9
14	Tonelaje recolectado	6,9	Ton		21 * 22
15	Toneladas por hora	2,5	Ton/hora	DEPENDE DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DEL SECTOR. PARÁMETRO DE DISEÑO	CUOCIENTE DE 14/5. EL TIEMPO ÚTIL HA SIDO TRANSFORMADO A FORMA CENTESIMAL.
16	Toneladas por kilómetro	0,53	Ton/Km	DEPENDE DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DEL SECTOR. PARÁMETRO DE DISEÑO	CUOCIENTE DE 14/10.
17	Velocidad en ruta	4,6	Km/hora	4 Km/hora	CUOCIENTE DE 10/5. TIEMPO ÚTIL A SIDO TRANSFORMADO A FORMA CENTESIMAL
18	Capacidad de carga del vehículo	7	Ton	DEPENDE VEHÍCULO	
19	Eficiencia del equipo de recolección	98,6%	%	SE RECOMIENDA 2 VIAJES. CON UNA EFICIENCIA SOBRE 90%	CUOCIENTE DE 14/19. SUMANDO LA CANTIDAD TOTAL RECOLECTADA EN TODOS LOS VIAJES PARA LA CAPACIDAD
20	Eficiencia de la cuadrilla	2,3	Ton/hombre/día	Óptimo 3 Ton/hombre/día	CUOCIENTE DE 14/NÚMERO DE PERSONAS DE LA
21	Número de compactaciones	29		DEPENDE DEL VEHÍCULO	
22	Peso promedio por compactación	238	Kg/compactación		VALOR ASUMIDO (210 - 290 Kg/COMPACTACION)
23	Costo por tonelada recolectada	18,96	USD/TON	25 USD PROMEDIO NACIONAL	(COSTO HORARIO DEL CHOFER + NÚMERO DE JORNALEROS * COSTO HORARIO JORNALERO + COSTO HORARIO

No hay que olvidarse de dibujar en el formulario la ruta de recolección estudiada, dado que con el dibujo de todas las rutas de una ciudad, se establecerá con exactitud la cobertura real del servicio, determinándose zonas no servidas y sitios donde se superponen.

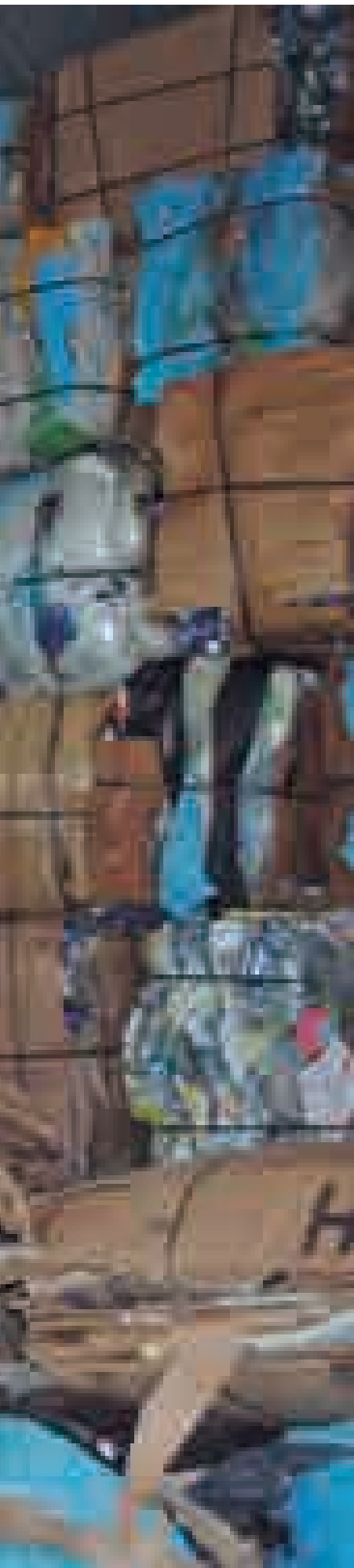
Similar procedimiento se realiza para el caso del barrido, cuyo resumen se muestra a continuación.

LOCALIDAD: _____ RUTA N: _____ LEVANTADO POR: _____ FECHA: _____ CONFORMACIÓN DE LA CUADRILLA: _____ FRECUENCIA: _____ HORARIO: _____					
CODIGO	INDICADOR	VALOR OBTENIDO	UNIDAD	VALOR ESTANDAR	OBSERVACIONES
1	Kilometraje total recorrido	3,84	Km	A establecerse en cada ciudad	Valor obtenido al medir en un plano a escala adecuada, la ruta estudiada
2	Kilometraje barrido	2,44	Km		
3	Porcentaje de kilometraje barrido	63,5%	%	Sobre el 70%	Cuociente de 2/1. Cerca del estándar
4	Kilometraje en tránsito	1,40	Km		
5	Porcentaje de kilometraje en tránsito	36,5%	%	Menos del 30%	Cuociente de 4/1. Cerca del estándar
6	Kilómetros barrido por hombre por día	1,22	Km/hombre*día	1,5 a 3,0 Km/hombre*día	Cuociente de 2/número de trabajadores de la cuadrilla. Bajo el estándar
7	Tiempo oficial de la jornada	4:00:00	Hora:min:seg	A establecerse en cada ciudad	Corresponde a la mitad de la jornada.
8	Tiempo real de la jornada	3:30:36	Hora:min:seg	Obtenido del estudio de tiempos y movimientos	Lapso de tiempo entre que sale y regresa al cuartelillo.
9	Porcentaje útil de la jornada	87,8%	%	Sobre el 90%	Cuociente 8/7. Cerca del estándar
10	Tiempo útil en la jornada	1:43:55	Hora:min:seg		Determinado del estudio de tiempos y movimientos y corresponde al tiempo utilizado exclusivamente en barrer
11	Porcentaje del tiempo útil en la jornada	49,3%	%	Sobre el 70%	Cuociente 10/8. Menor al estándar
12	Tiempo en tránsito en la jornada	1:46:41	Hora:min:seg		Determinado del estudio de tiempos y movimientos y corresponde al tiempo utilizado en ir y regresar de la zona servida
13	Porcentaje de tiempo en tránsito en la jornada	50,7%	%	Menos del 30%	Cuociente 13/8. Menor al estándar
14	Número de carritos o carretillas recolectadas.	2,50		Obtenido del estudio de tiempos y movimientos	Depende de la zona servida
15	Volumen total recolectado	500,00	Litros	A establecerse en cada ciudad	A RAZON DE 200 LTS POR CARRETILLA
16	Peso recolectado	200	Kg	A establecerse en cada ciudad	A razón de 400 Kg/m ³ . Se calcula 11*densidad
17	Generación de desechos de barrido	81,97	Kg/Km	A establecerse en cada ciudad	Cuociente 12/2. Zona de barrido muy sucia.
18	Costo del kilómetro barrido	2,50	USD/Km	A establecerse en cada ciudad	Costo hora jornalero * número de trabajadores * horas de la jornada * indirectos dividido para el número de km barridos.

Finalmente, el costo por tonelada recolectada se realiza calculando los costos directos del servicio, sin incluir los costos administrativos. Las consideraciones realizadas son las siguientes.

DATOS PARA EL CÁLCULO DEL VALOR APROXIMADO DE TONELADA RECOLECTADA	
Salario mensual jornalero	126,63 USD
Horas de trabajo mes	40,00 USD
Salario hora jornalero	13,17 USD
Salario mensual chofer	135,48 USD
Horas de trabajo mes	40,00 USD
Salario hora chofer	3,39 USD
Costo diario recolector	96,67 USD
Costo horario recolector	12,08 USD
Costo indirectos	20%





© WWF / Verónica Toral-Granda

CAPÍTULO 4

Almacenamiento temporal

El almacenamiento temporal permite acumular los residuos en condiciones higiénicas entre los períodos de recolección de los mismos. Esto depende de la cantidad de residuos a almacenarse, del tipo y de la frecuencia del servicio de recolección de los residuos. Por tanto, existe una relación directa entre el almacenamiento temporal de los residuos sólidos y el servicio de recolección.

Como prácticas comunes se ha utilizado cajas de cartón y cajones de madera. En el caso de las cajas de cartón, estas se humedecen y se rompen, ocasionando el vertido de los residuos y demoras a los operadores del servicio. En el caso de las cajas de madera, durante la manipulación, se desarman con consecuencias similares a las indicadas para las cajas de cartón.

Otra práctica muy usada para comercios o condominios de viviendas ha sido los tanques metálicos de 55 galones, los cuales representan un problema para los operadores del servicio debido a su peso.

Por lo descrito, es necesario normar los recipientes de almacenamiento con el fin de que faciliten las tareas de recolección.

1. Definición de parámetros para el diseño del almacenamiento temporal

1.1 Dimensionamiento del almacenamiento temporal

La capacidad o volumen del recipiente de almacenamiento depende de:

- Generación de residuos
- Frecuencia del servicio de recolección

La generación de residuos debe ser establecida para cada tipo de usuario, como por ejemplo, para usuarios domiciliarios, usuarios industriales, mercados, etc. Por ejemplo, para el caso de usuarios domiciliarios, asumiendo los siguientes valores, el cálculo a seguirse sería el siguiente:

- PPC (producción per cápita de residuos domésticos): 0,70 kg/persona/día
- Valor típico de habitantes por vivienda: 5,5 persona/vivienda
- Peso volumétrico de los residuos sólidos domésticos: 220 kg/m³

Entonces el volumen diario necesario de almacenamiento temporal sería:

$$V = PPC \times persona \times PV$$

Reemplazando los valores asumidos:

$$V = 0,70 \text{ kg/persona/día} \times 5,5 \text{ persona/vivienda} \times 1000 \text{ lt}/220 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 17,5 \text{ lts/día}$$

Para el cálculo del volumen del recipiente, se debe tomar en cuenta la frecuencia de recolección. Por ejemplo, si se asume una frecuencia interdiaria, el caso más crítico sería el lunes que tiene que almacenar los residuos del viernes luego de la recolección más los de sábado y domingo, conforme se observa en el calendario semanal siguiente:

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
X		X		X		

Por tanto, el volumen debería ser:

$$V = 17,5 \text{ lts/día} \times 3 \text{ días}$$

$$V = 52,5 \text{ lts.}$$

El volumen de recipiente a adoptarse podría ser el volumen de recipientes comerciales más cercano por el lado superior del valor obtenido, como ejemplo, 60 litros.

Para el caso de contenedores comunitarios el cálculo es similar, solamente que se debe tomar en cuenta el número de unidades familiares que depositarán los residuos en el contenedor estacionario. Así mismo, en el caso de los mercados se deberá conocer la generación diaria de residuos para poder dimensionar los contenedores o centros de almacenamiento para sus residuos. Similar situación para el caso de las industrias.

En el caso de almacenamiento temporal del barrido de calles, de los estudios de tiempos y movimientos de barrido se obtiene el indicador kg/km barrido, así como el peso volumétrico de los residuos de barrido. En base a esto, se podría calcular el volumen mínimo de los recipientes para el barrido de calles o estimar el número de bolsas plásticas o sacos de yute para colocar estos residuos para su posterior recolección.

1.2 Tipos de recipientes de almacenamiento

El tipo de recipiente de almacenamiento y los materiales de los que están hechos depende de los siguientes aspectos:

- Características climáticas de la región
- Tipo de residuos a almacenarse
- Forma de operación de recolección
- Cantidad de residuos almacenados
- Peso volumétrico de los residuos
- Frecuencia del servicio de recolección

Los recipientes de almacenamiento están íntimamente ligados al sistema de recolección y en algunos casos los contenedores utilizados requieren de vehículos especiales para la recolección, como el caso de contenedores de basura estacionarios. En las regiones insulares y costeras, los recipientes metálicos se corroen rápidamente, presentando poca vida útil. Mejores resultados presentan los recipientes de plástico reforzados para este tipo de climas.

Otro tipo de recipientes de amplio uso y con ventajas por sus adecuadas condiciones sanitarias y manejo son los recipientes plásticos de alto impacto que superan mayormente el año de vida útil. Para generadores medianos y grandes hay una variedad de opciones, como contenedores de varios tipos, que dependen del tipo de residuos y cantidades que deberán almacenar.

Para el caso de papeleras peatonales, se ha utilizado una serie de materiales, con diferentes resultados de funcionalidad y duración. Se ha observado que las papeleras de madera, fibra de vidrio y de plástico han mostrado buenos resultados de duración. En todo caso, las papeleras deben tener un fácil sistema de evacuación de su contenido y mantener un buen grado de limpieza, para inducir al usuario a depositar en su interior los residuos.



Para el caso de los usuarios domésticos, son ampliamente usadas las bolsas plásticas que brindan ventajas tales como adecuadas condiciones sanitarias y fácil manipulación en las tareas de recolección. Las bolsas de polietileno de baja densidad vienen en varias capacidades como de 30 a 100 litros y en calibres o espesores de 0.04 a 0.08 mm, así como en varios colores para los diferentes tipos de residuos. Su desventaja consiste en que por ser de un solo uso, aporta a la cantidad de residuos –en caso que no haya sistemas de separación– en el relleno sanitario, donde por sus características de baja biodegradabilidad, presentan un problema a largo plazo. Actualmente existen variedad de bolsas plásticas que presentan mejores características de biodegradabilidad como las denominadas oxo biodegradables, especialmente utilizadas en centros comerciales y cadenas comerciales.

Un caso especial de análisis se da en los sistemas que han implementado sistemas de separación de los residuos sólidos, en base a un código de colores, para almacenar diferentes tipos de residuos. En todos los casos, se deberá realizar un análisis de costos de los recipientes a implementarse para los diferentes usuarios del servicio, tomando en cuenta que las decisiones del tipo y clase de recipientes están ligadas a los sistemas de recolección que, en general, demandan entre el 70 a 80 por ciento del costo total de los servicios de aseo.



© WWF/Jean Claude Constant

1.3 Aspectos legales sobre el almacenamiento temporal

Para la eficiencia del servicio, es importante uniformizar los recipientes de almacenamiento en la zona de servicio, dado que permite cumplir con los objetivos de un buen manejo, a la vez que permiten condiciones sanitarias al interior de los hogares, facilidades para el servicio de recolección, y menores costos para el usuario y el sistema de aseo en general.

Por esta razón, vía ordenanzas se debe propiciar la regularización de los recipientes de almacenamiento para los diferentes tipos de usuarios. Se pondrá especial énfasis en este tema cuando se haya implementado sistemas de separación que incluyan normatividad respecto a la obligación de separar y las sanciones a quienes no lo hagan, conforme lo estipulado en la ordenanza.





CAPÍTULO 5

Barrido de calles y playas

El barrido de calles, plazas, áreas públicas y playas es un aspecto importante para la salud, las propiedades y la autoestima de las personas. Mejorar la apariencia de calles y espacios públicos manteniéndolos limpios es importante, especialmente en ciudades costeras cuya economía se basa principalmente en el turismo nacional e internacional. Se conoce claramente las consecuencias de la falta de barrido de calles en épocas de crisis que han pasado algunas ciudades, lo que ha afectado no solamente a la calidad de vida de los habitantes sino también a la economía de una ciudad.

En general, en ciudades medianas y pequeñas el método de barrido manual es el más utilizado, que requiere gran cantidad de personal y genera costos correspondientes, dependiendo del tamaño de la ciudad. Por tanto, este componente requiere una adecuada planificación técnica que optimice el aprovechamiento de los recursos humanos y materiales.

El barrido y la limpieza de las calles, plazas, áreas públicas y playas tiene además una importancia especial en territorios insulares dado que están rodeados por ecosistemas marinos que son sumamente sensibles a la contaminación por desechos. En comparación con la costa continental, los territorios insulares tienen una línea costera de 360 grados. Por ende, la probabilidad de contaminación por desechos sueltos en los ecosistemas marinos es mucho más alta.

1. Definición del grado de limpieza

La limpieza es calificada subjetivamente por cada individuo, por lo que es difícil lograr un consenso en valorarla. Por esta razón, se recomienda la utilización del método de “Grado de aseo de calles”, elaborado por el Ing. Francisco Gálvez para la ciudad de Santiago de Chile, que se describe en la Tabla 5.

Tabla 5
Definición del grado de aseo público urbano

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES VISIBLES PARA CUMPLIR UN NIVEL DE SERVICIO DETERMINADO
A	No se observa polvo ni otros desperdicios en calles ni aceras
B	Solo se observa una cantidad moderada de polvo
C	Hay polvo y papeles en cantidad moderada
D	Hay polvo, gran cantidad de papeles y una cantidad moderada de otros desperdicios
E	Hay gran cantidad de polvo, papeles y otros desperdicios, en especial basura doméstica
F	Depósitos de grandes cantidades de basura doméstica en las vías públicas

Fuente: Il Curso para encargados de los servicios de aseo urbano del país. Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ecuador. OPS – OMS. Octubre. 1985.

Para la aplicación de este método, se recomienda realizar recorridos por las zonas a ser atendidas antes del servicio de barrido, inmediatamente después de finalizado el servicio y horas después de finalizado el servicio. De esta manera, se podrá calificar la eficiencia de la cuadrilla de trabajo, así como evaluar si determinada vía o sector requiere un repaso adicional para mantener condiciones adecuadas de limpieza, sobre todo en aquellas áreas que se ubican en zonas turísticas de alto tráfico peatonal.

Lo deseable sería mantener las vías como mínimo en un nivel B. Se podría, por tanto, establecer este grado de aseo de las vías en un plano de la ciudad para definir las necesidades del servicio y definir las frecuencias y cuadrillas de trabajo, y el tipo de campañas educativas y dónde deben intensificarse para captar la colaboración ciudadana.

2. Tipos de barrido

Las formas de brindar el servicio de barrido, en base al tipo de equipos utilizados, pueden ser:

- Barrido manual
- Barrido mecánico
- Barrido mixto

El barrido manual es el más utilizado y se caracteriza por ser accesible a todo tipo de vías. Los costos iniciales o de inversión son bajos, pero demanda gran cantidad de personal en función de la longitud total de las vías a servirse, por lo que los costos operativos suelen ser altos y dependen del rendimiento de las cuadrillas.

El barrido mecánico es utilizado para vías de alto tráfico vehicular como son pasos deprimidos o avenidas de varios carriles. Este presenta dificultades de operación en zonas urbanas con alto tráfico peatonal, requiere altos costos de inversión y tiene buenos rendimientos en vías principales de alto tráfico.

En algunos casos es conveniente combinar el barrido manual y el mecánico para dar el servicio. En ese caso, se utiliza el barrido mecánico para avenidas y vías rápidas; y para las restantes, barrido manual, con diferentes horarios y frecuencias, de acuerdo a la necesidad.

3. Dimensionamiento del barrido

Como un insumo básico para el dimensionamiento del servicio de barrido, se requiere un conocimiento real de la red vial de la ciudad a ser atendida, donde se tenga la siguiente información:

- Longitud total de vías
- Vías aptas para barrer son aquellas que disponen de algún tipo de recubrimiento o capa de rodadura, tal como asfalto, adoquín, hormigón, etc. En general, las vías de tierra no son sujetas al servicio de barrido, a menos que presenten importancia de alguna razón, como acceso a un sitio turístico
- Identificación de las zonas de la ciudad en base a zonas de alto flujo peatonal, zonas turísticas, zonas históricas, comerciales, o de edificios públicos
- Ubicación de plazas, parques, malecones, muelles y otros sitios de interés público
- Ubicación de playas y otros sitios turísticos



Toda esta información debe incluirse en un mapa de la ciudad, luego de lo cual se debe tomar las siguientes decisiones:

- Frecuencia del servicio, esto es, si se barre de manera diaria o varias veces al día. En zonas residenciales, el barrido podría hacerse con menor frecuencia, quizás una vez por semana; y en zonas periféricas, incluso hasta una vez cada quince días. Se debe recordar que mientras mayor sea la frecuencia, se requerirá mayor cantidad de jornaleros y, por ende, el servicio será más costoso
- Tamaño de la cuadrilla de trabajo de barrido. Por ejemplo, si se utilizan cuadrillas individuales, de dos jornaleros o cuadrillas múltiples
- Equipos y herramientas a utilizarse. Por ejemplo, si se recogen los residuos de barrido en carretillas, en tanques o en bolsas plásticas
- Rendimientos a utilizarse. Por ejemplo, para una cuadrilla individual en las siguientes condiciones: barrido de acera y cuneta, vía pavimentada, el rango aceptable de barrio es de 1,3 a 1,5 Km lineales/barredor/día⁵
- Determinar la forma de recolección de los residuos de barrido. Por ejemplo, depositar en centros de acopio, esperar al vehículo de recolección, dejar bolsas plásticas en sitio predefinido para su posterior recolección, etc.

No se debe olvidar que mucha de esta información se obtiene al realizar los estudios de tiempos y movimientos del sistema existente, como ya se explicó en secciones anteriores.

A manera de ejemplo de dimensionamiento se realiza el cálculo de personal necesario para brindar el servicio a una ciudad, con las características indicadas en los datos de la Tabla 6.

Como se observa en el ejemplo, solamente se barrerán las vías con capa de rodadura. Se asume que el crecimiento vial de esta ciudad es de vías aptas para barrer en los barrios periféricos y la cobertura del servicio de estas vías es del orden del 100%.

Así mismo se adopta una frecuencia de servicio diaria para la zona central de la ciudad, por su importancia política, turística y de concentración de tránsito peatonal y vehicular.

En la zona residencial se adopta una frecuencia bisemanal, donde cada sector de barrido tendrá un servicio de por lo menos dos días a la semana. En cambio, para los barrios periféricos donde exista capa de rodadura, se adopta una frecuencia de barrido de una vez por semana.

5 Ing. Fernando Paraguassú de Sá, Ing. Carmen Rojas Rodríguez. 2002. *Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública*. OPS.

Tabla 6
Ejemplo de dimensionamiento de barrido

COMUNIDAD						DIMENSIONAMIENTO DEL BARRIDO PÚBLICO				
Datos:										
Kilómetros vías total						129 Km				
Kilómetros vías tierra						27 Km				
Kilómetros playas						10 Km				
Kilómetros área central						28 Km		Frecuencia diaria		
Kilómetros área residencial						40 Km		Frecuencia bisemanal		
Kilómetros barrios periféricos						34 Km		Frecuencia semanal		
Kilómetros anualmente incorporados a la red vial						4 Km		Km con capa de rodadura apta de barrer		
Rendimiento vial						2,5 Km/persona*día				
Rendimiento playas						2,0 Km/persona*día				
AÑO	KM TOTAL	KM A BARRER	KM ZONA CENTRAL	KM ZONA RESIDENCIAL	KM BARRIOS PERIFÉRICOS	JORNALEROS ZONA CENTRAL	JORNALEROS AREA RESIDENCIAL	JORNALEROS BARRIOS PERIFÉRICOS	JORNALEROS PLAYAS	TOTAL JORNALEROS
2010	129,0	102,0	28,0	40,0	34,0	12,0	6,0	3,0	5,0	26,0
2011	133,0	106,0	28,0	40,0	38,0	12,0	6,0	3,0	5,0	26,0
2012	137,0	110,0	28,0	40,0	42,0	12,0	6,0	3,0	5,0	26,0
2013	141,0	114,0	28,0	40,0	46,0	12,0	6,0	4,0	5,0	27,0
2014	145,0	118,0	28,0	40,0	50,0	12,0	6,0	4,0	5,0	27,0
2015	149,0	122,0	28,0	40,0	54,0	12,0	6,0	4,0	5,0	27,0
2016	153,0	126,0	28,0	40,0	58,0	12,0	6,0	4,0	5,0	27,0
2017	157,0	130,0	28,0	40,0	62,0	12,0	6,0	5,0	5,0	28,0
2018	161,0	134,0	28,0	40,0	66,0	12,0	6,0	5,0	5,0	28,0
2019	165,0	138,0	28,0	40,0	70,0	12,0	6,0	5,0	5,0	28,0
2020	169,0	142,0	28,0	40,0	74,0	12,0	6,0	5,0	5,0	28,0

Se establece, entonces, el valor de kilometraje a barrerse para cada caso. En este ejemplo, los valores del kilometraje de la zona central y zonas residenciales no se incrementan, dado que se asume que son zonas consolidadas, mientras que los barrios periféricos están en proceso de crecimiento.

Con los valores indicados, se calcula la cantidad de jornaleros para cada caso, dividiendo los kilómetros de cada zona para el rendimiento de barrido en vías. Para el caso de la zona residencial consolidada, se divide además por un valor de 3, dado que un jornalero de barrido puede atender semanalmente 3 sectores. Por ejemplo, un jornalero puede barrer lunes y jueves el sector 1; miércoles y viernes el sector 2; y miércoles y sábado el sector 3. En el barrio periférico, se procede de manera similar, pero se divide además por 6, dado que cada día este jornalero podrá atender un sector diferente.

Finalmente, se asume que la zona de playas tiene una frecuencia diaria. Esta situación debe ser analizada, puesto que esta frecuencia es variable, porque en temporada de vacaciones se requerirá más de un repaso por día y los rendimientos serán menores por la cantidad de residuos que existen. Para el ejemplo, se asume un barrido diario de playas con un rendimiento de 2 Km/persona*día. Este valor debería ser obtenido de estudios de tiempos y movimientos realizados en campo.

Al ejemplo anterior, se debería sumar la cantidad de jornaleros necesarios para la limpieza de parques y jardines, así como de otros sitios de interés para la ciudad.



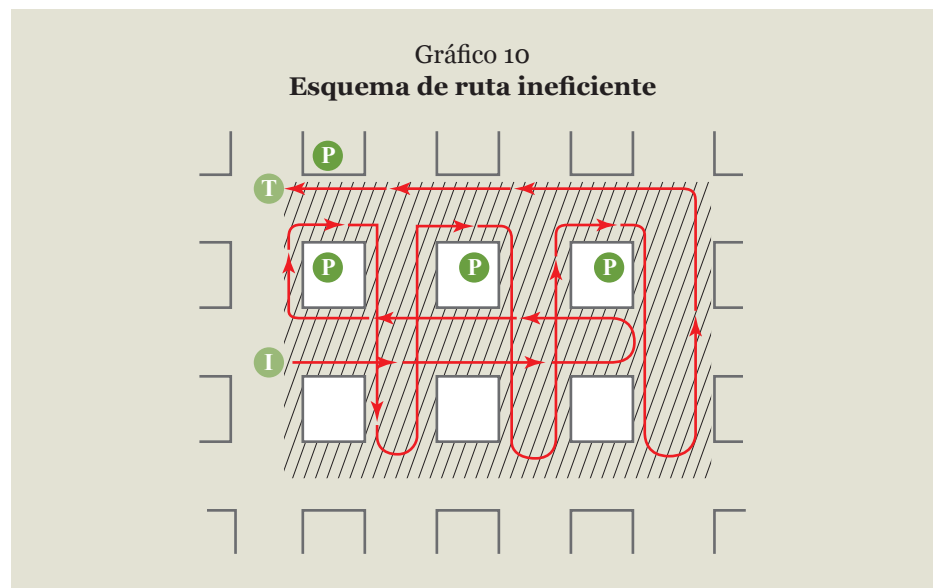
© WWF / Marcelo Castillo

4. Diseño de las microrrutas de barrido

Una vez definida la cantidad de jornaleros, se procederá al diseño de las microrrutas de barrido, para lo cual se requiere disponer de un mapa actualizado de la ciudad. Inicialmente se seleccionan las vías a ser atendidas en segmentos iguales al rendimiento asumido. En el ejemplo se tomaría un total de 2,5 Km de vías a ser atendidas por una cuadrilla de un jornalero.

Luego se dibujaría el recorrido que debería realizar el barrendero para cubrir la zona asignada. El método más utilizado para este ejercicio es el método heurístico, o del sentido común, para lo cual se realizan varias alternativas de trazado, escogiendo y perfeccionando aquella que tenga menor recorrido, que disminuya los tiempos muertos y que evite cruces repetidos. Una recomendación para realizar estos diseños es simplificar los mapas dejando solamente una esquematización de las calles a ser atendidas.

En el Gráfico 10 se muestra un ejemplo de una microrruta de barrido, que cumple con el kilometraje de diseño y sirve a ambos lados de la vía.

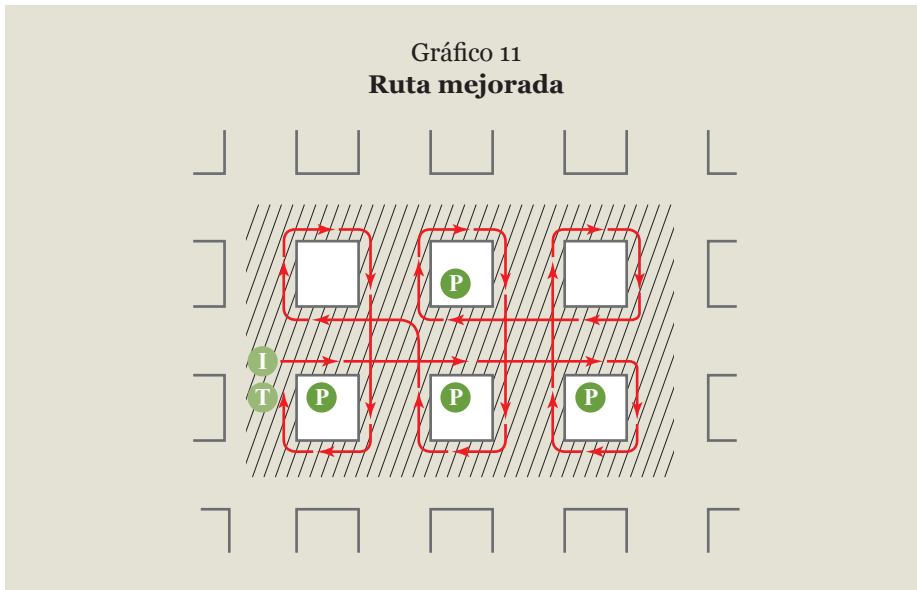


En el Gráfico 10, la simbología utilizada es:

- I* : Inicio de ruta
- T* : Término de ruta
- P* : Ubicación de sacos plásticos con la basura del barrido
- : Recorrido en servicio (útil)
- → : Recorrido en tránsito (muerto)

Si bien la ruta indicada cubre los dos lados de las vías del sector asignado, se puede observar que sirve 12 cuadras y tiene 18 cruces, lo que ocasiona incremento de tiempo y recorrido.

En el Gráfico 11 se muestra la misma área a ser atendida, pero con un recorrido mejorado que permite ahorrar tiempo y recorrido. La simbología utilizada es la misma que la del esquema anterior.



Generalmente, la aplicación del método heurístico requiere de varios intentos, hasta lograr una microrruta con la menor cantidad de cruces y repasos, a la vez que se atiende a toda la zona asignada.

Para la implementación del servicio se debería realizar un recorrido previo con los jornaleros, para identificar cualquier tipo de problema o dificultad que pudiera darse sobre la microrruta. Un aspecto clave en la operación del servicio de barrido es la supervisión en campo, para lo que se sugiere la contratación de sobrestantes o supervisores de barrido, para que de manera aleatoria supervisen las microrrutas y evalúen su estado de limpieza aplicando el método de definición del grado de aseo de calles ya indicado. Se estima un supervisor por cada 15 a 20 microrrutas de barrido. A este personal se le podría dotar de una motocicleta o bicicleta para realizar un mejor control.

Otro factor que se debe considerar es que debido a la cantidad de mano de obra que utiliza este servicio, se requerirá de un efectivo control para mantener buenos rendimientos y costos razonables del servicio.

Para el costeo del servicio, se deberá tomar en cuenta todos los rubros que se requieren para brindar un servicio efectivo, por ejemplo:

- Herramientas como carretillas o carritos de barrido
- Bolsas plásticas para los residuos de barridos que deberán ser recolectados con posterioridad por el servicio de recolección
- Escobas, recogedores, etc.
- Equipos de protección personal como uniformes, guantes, botas, mascarillas, etc.

El costo del servicio de barrido se debe calcular incluyendo todos los costos de equipos, herramientas, equipos de protección, salarios de jornaleros, supervisores, etc. Dividiendo el costo del servicio para la cantidad de kilómetros barridos cada día, se obtiene USD/Km barrido*día. Con este indicador se puede comparar cómo se encuentra el servicio en relación a los estándares regionales cuyo costo es de 10 USD/Km barrido.⁶

En caso de tener un servicio mixto o mecánico, se recomienda un rendimiento mínimo de 20 Km/máquina*día, o la que el fabricante recomiende en sus especificaciones técnicas. Así mismo, se deberá respetar el número de horas de trabajo entre cada mantenimiento para lograr una buena vida útil del equipo y que sea aprovechado eficientemente.

© WWF / Marcelo Castillo



6 OPS – OMS. 2005. *Evaluación regional de los residuos sólidos en Latinoamérica y el Caribe*.





CAPÍTULO 6

Recolección y transporte

El sistema de recolección es básico para mantener las condiciones de salud en una población dado que en esta fase se extraen los residuos de los centros poblados. Con esto se previene la generación de vectores, malos olores, líquidos contaminantes producto de la descomposición de los residuos, que podrían afectar la salud, la calidad de vida de los habitantes de una ciudad y el ambiente. Adicionalmente, se debe considerar las formas como se recogerán y evacuarán otros tipos de residuos como los tóxicos y hospitalarios, que requieren su propio manejo.

1. Parámetros de diseño del servicio de recolección de residuos sólidos

Previo al establecimiento de los parámetros de diseño, se requiere conocer los métodos de recolección de residuos sólidos. Esta clasificación sugiere las siguientes tipologías:⁷

- Recolección de vereda
- Recolección del interior de las viviendas
- Recolección de contenedores estacionarios

El primer método es el más difundido, donde el usuario saca sus recipientes de almacenamiento frente a su vivienda o al sitio más cercano a ésta de acuerdo a las rutas del vehículo de recolección. El proveedor del servicio determina la frecuencia y horario del servicio. Luego de que los residuos han sido recolectados, es responsabilidad del usuario guardar los recipientes al interior de su hogar. (En caso de que se utilicen bolsas plásticas, este paso no es necesario).

7 Adaptado de: II Curso para encargados de los servicios de aseo urbano del país. Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ecuador. OPS – OMS. Octubre. 1985.

En el segundo método, el personal del servicio de aseo retira los recipientes del interior de las viviendas y los devuelve después de vaciarlos en el recolector.

En el tercer método, se ubican contenedores estacionarios en sitios seleccionados por el prestador del servicio, adonde el usuario tiene que ir a depositar sus residuos. Posteriormente, estos contenedores son vaciados por vehículos recolectores adecuados para este fin.

Las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos indicados se describen en la Tabla 7.

Tabla 7
Tipos de recolección de residuos

CARACTERÍSTICAS	PUNTO DE RECOLECCIÓN		
	VEREDA	VIVIENDA	ESTACIÓN
Tiempo empleado	Regular	Mucho	Poco
Ayudantes por vehículo	2 – 3	3 – 5	1 – 2
Costo	Bajo	Muy alto	Muy bajo
Necesidad de cooperación del público	Regular	Pequeña	Muy alta
Derrame en la calle	Regular	Nula	Alta
Aspecto visual	Regular	Bueno	Malo
Problemas con el público	No hay	Muchos, por el ingreso de las personas a las casas	No hay
Nivel del servicio	Bueno	Excelente	Regular

Fuente: II Curso para encargados de los servicios de aseo urbano del país. Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ecuador. OPS – OMS. Octubre. 1985.

De lo indicado, se observa que el método de vereda es una buena opción debido a la relación costo-eficiencia. Además, tiene buena aceptación de la ciudadanía y el tiempo de operación es medio en comparación con los otros dos métodos. Sin embargo, existe la necesidad de tener recipientes de almacenamiento adecuados que faciliten las actividades de recolección. Por lo indicado, este método es uno de los métodos más utilizados.

La recolección en las viviendas se considera complicada, cara y demasiado lenta para un adecuado aprovechamiento de la flota y cuadrilla de trabajo. Finalmente, el método de contenedores es factible pero con una alta participación de la ciudadanía para dejar sus residuos en los contenedores, con el riesgo de la formación de acumulamientos de basura en los sitios aledaños al contenedor y la consecuente aparición de plagas de ratas, mosquitos, etc.

En algunas zonas de difícil acceso, sistemas mixtos como recolección de vereda y contenedores son utilizados.

Una vez definida la forma de recolectar, los parámetros básicos de diseño son:

- Cantidad de residuos a recoger
- Tipo de residuos a recolectar
- Frecuencia y horario del servicio
- Distancias a recorrerse y tiempos de trabajo
- Tipo de equipo de recolección
- Conformación de la cuadrilla de trabajo

1.1 Cantidad de residuos a recolectar

En el Capítulo 3, se reseñó las metodologías más utilizadas para la determinación de la cantidad de residuos que genera una población. Con el valor de la generación per cápita de los residuos sólidos y de la evolución de la población en términos cuantitativos, se debe realizar las proyecciones respectivas para determinar la cantidad de residuos a recogerse.

Un aspecto clave en esta determinación es la cuantificación de la cobertura, entendiéndose como tal la cantidad de residuos que son recolectados versus la cantidad de residuos generados. Lo deseable lógicamente es llegar a una cobertura global (100%) de una ciudad o región. Pero generalmente, se tiene casos o zonas especiales donde la falta de vías adecuadas, fuertes pendientes, inaccesibilidad o malas costumbres ciudadanas impiden una cobertura total. Lo deseable, por tanto, es tener coberturas lo más cercanas al 100% de los residuos generados.

Otra forma de medir la calidad del servicio es la cobertura geográfica del servicio de recolección. Esto es, del total del área de una ciudad cuánto de ésta tiene el servicio de recolección. Las causas para no tener una cobertura global, serían semejantes a las mencionadas anteriormente.

Más adelante, en la Tabla 8 se muestra los cuadros de cálculo utilizados para este tipo de determinaciones y la determinación del tamaño de la flota requerida.

1.2 Tipos de residuos a recolectar

La recolección de residuos sólidos depende de las decisiones y políticas de manejo que se van a adoptar en una ciudad. Por ejemplo, si se ha optado por la separación de residuos sólidos en la fuente para implementar un proceso de reciclaje de materiales se requeriría un sistema de recolección diferenciado. Así mismo, si se va a recolectar los desechos de grandes generadores como mercados o residuos de tipo doméstico e industrial, es probable que se requiera de un equipo para levantar contenedores, etc.

En base a la definición de los residuos a recolectar, se definirá el tipo de vehículos a utilizarse y los tipos de recipientes de almacenamiento a usarse.

En este sentido, se podrían tener algunos de los siguientes casos:

- Para residuos en general (mezclados, no reciclables o rechazo) se recomienda contar con un vehículo recolector con tolva de acero y sistema de compactación hidráulica para reducir el volumen de los desechos recolectados, evitar malos olores o pérdida involuntaria de desechos en el camino al relleno sanitario debido a la velocidad mayor en la carretera.
- Para residuos reciclables (recolección diferenciada para aprovechar la separación de materiales realizada en los hogares), los vehículos recolectores compactadores no son adecuados dado que en el proceso de compactación se perdería parte de la calidad del material reciclable y por tanto su valor económico. Para este tipo de materiales es conveniente contar con camiones con cajones aumentados, por el volumen que estos materiales ocupan, o camiones con compartimentos para los diferentes materiales separados.
- Para residuos orgánicos, la alternativa de los vehículos recolectores compactadores es una buena opción porque evitan la salida de malos olores o lixiviados del vehículo.
- Para mercados o productores medianos y grandes, en lugar de que el recolector compactador pierda tiempo cargando los residuos a la tolva del recolector, sería preferible utilizar contenedores que sean recolectados por algún vehículo o aditamento especial. Para el caso de estos contenedores especiales (voluminosos y pesados) existen aditamentos y sistemas de levantamiento y vaciado que se adaptan a los recolectores convencionales.

1.3 Frecuencia y horario del servicio

La frecuencia del servicio está íntimamente relacionada con los costos del servicio, por lo que a mayor frecuencia, mayores costos operativos del servicio. Para el caso de sistemas sin separación de materiales resulta un lujo la recolección diaria de residuos sólidos, debiendo analizarse distanciar la frecuencia para reducir costos. En ningún caso se recomienda brindar el servicio con frecuencias menores a una vez por semana, especialmente por las temperaturas elevadas de las regiones insulares en el trópico, que favorecen los procesos de degradación de la materia orgánica, que causan malos olores y proliferación de insectos y roedores.

La frecuencia se define por la cantidad de días en los que se recoge los residuos en la semana, y se aplica la siguiente expresión:

$$f = \frac{6}{n}$$

Donde:

- f = frecuencia. Cuando es igual a $6/6$, significa que el servicio es diario. Si es igual a $6/3$, el servicio se brinda pasando un día. Si es igual a $6/2$, el servicio es bisemanal; y $6/1$ corresponde a servicio semanal. Obsérvese que se ha considerado solo 6 días en la semana puesto que generalmente los domingos no se realiza el servicio. Entonces, la cantidad de residuos a recolectarse por ejemplo en una frecuencia interdiaria sería igual a las toneladas diarias por un factor de $6/3$ ⁸
- n = días de recolección a la semana

El horario es otra decisión que se debe analizar y está en base a las costumbres de la ciudadanía, aspectos climáticos o necesidad de optimizar la flota. Así por ejemplo, si las temperaturas durante el día son muy calurosas, es recomendable pasar el horario de recolección a la tarde y noche. Esta situación incluso ha sido adoptada en varias ciudades, donde en la noche se produce una disminución notable del tráfico vehicular y peatonal, lo que disminuye los tiempos muertos de las rutas de recolección, pero presenta dificultades para los usuarios de sacar los recipientes en horas de descanso o causa ruido en horas de la noche.

En otros casos, por ejemplo, por falta de equipos de recolección se podría realizar el servicio de recolección en una zona de la ciudad en la mañana y con la misma flota realizar el recorrido con horario nocturno en otra zona de la ciudad. Por supuesto, esta opción reduce la vida útil de los equipos por la carga horaria de trabajo que tendrían.

1.4 Distancias a recorrer y jornada de trabajo

La decisión de la forma de establecer el servicio de recolección también pasa por la ubicación del garage donde se guardan los vehículos de recolección y del sitio de disposición final. En base a estas distancias y a los tiempos que demandan se debería establecer los tiempos reales de los recorridos en las rutas para que se enmarquen dentro de la jornada oficial de trabajo y evitar costos adicionales por horas extras y sobretiempos.

1.5 Tipos de equipos de recolección y cuadrilla de trabajo

La selección de los equipos de trabajo depende de una serie de criterios, y la utilización de camiones compactadores no siempre es lo más adecuado.

8 En la práctica se ha llegado a demostrar que la cantidad de residuos a recolectarse de manera interdiaria no es el doble de lo generado en el día, sino más bien aumenta un 60 al 70 por ciento de la generación de un día. Por esa razón, al cambiar de una frecuencia diaria a interdiaria hay un ahorro del 60 al 70 por ciento de la flota, permitiendo ampliar la cobertura a nuevos sectores.

En la actualidad, hay una amplia variedad de equipos de recolección de residuos sólidos de varias casas comerciales internacionales, pero también se ha desarrollado tipos alternativos de vehículos de recolección para zonas inaccesibles a vehículos convencionales o para sistemas de bajos costos operados por microempresas u otras formas comunitarias. A manera de resumen se puede mencionar:

- Equipos compactadores con sistemas de volteo o descarga mecánica
- Camiones sin compactación y con volteo mecánico
- Camiones sin compactación y sin volteo mecánico
- Equipos alternativos como triciclos, carretones, etc.

Como se describió en el Capítulo 3, uno de los parámetros fundamentales para el diseño y la selección de los equipos es el peso específico de los mismos. Los residuos sólidos de tipo doméstico presentan valores bajos de peso específico, con valores típicos entre 200 y 300 kg/m³.

Por esta razón, si se quisiera recolectar y transportar, por ejemplo, 5 toneladas con un camión sin compactación, se requeriría una caja de aproximadamente 20 m³, de acuerdo al siguiente cálculo:

$$\rho = \frac{P}{m^3}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\rho &= \text{Peso volumétrico en kg/m}^3 \\ P &= \text{Peso de los residuos sólidos en kg} \\ m^3 &= \text{Volumen en metros cúbicos}\end{aligned}$$

De la expresión anterior, se despeja el volumen.

$$V = \frac{P}{\rho}$$

Si se asume un peso volumétrico de 250 kg/m³, entonces:

$$V = \frac{5000 \text{ Kg}}{250 \text{ Kg/m}^3}$$

El valor obtenido de 20 m³ significaría tener una caja de dimensiones mínimas de 5x2x2 m. Estas dimensiones serían inmanejables para una mayor cantidad de toneladas a recolectarse. Para este caso sería más conveniente utilizar vehículos compactadores, con capacidades de compactación de 1 a 2 hasta 1 a 4, lo que significa que reducen por medios mecánicos el volumen de los residuos desde a la mitad hasta a la cuarta parte. Otra ventaja adicional que presentan estos equipos es la capacidad de descarga mecánica por medio de una placa eyectora que facilita el vaciado del vehículo en el relleno sanitario, disminuyendo los tiempos muertos.

Se deberá tener la precaución de seleccionar de manera adecuada este tipo de vehículos, para lo cual hay que realizar una profunda revisión de las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes. Lo deseable sería que tengan un sistema de almacenamiento de líquidos generados por la

compactación de los residuos, especialmente por los residuos orgánicos que tienen un alto contenido de humedad.

Una desventaja de estos vehículos es que tienen un costo alto y los costos operativos se vuelven altos si no se aprovecha la capacidad de la caja compactadora. Esta situación se debe a que el vehículo recolector tiene un costo de operación independientemente de la cantidad de tonelaje que se recoja, es decir, gasto de combustible, lubricantes, depreciación de los equipos, así como gastos de personal (choferes y ayudantes). Estos gastos van a ocurrir aunque se transporte una tonelada o siete toneladas. El costo por tonelada recolectada será menor si se recolecta toneladas cercanas a la capacidad máxima de carga del equipo.

Las cajas compactadoras de estos vehículos vienen en varios tamaños, en función de lo cual dependerá el chasis que deberá requerirse para su transporte, que tiene que ver directamente con los pesos a manejarse. Otro factor importante es el radio de giro de los vehículos, especialmente de aquellos de grandes dimensiones que pueden ser una restricción en ciudades con calles angostas y topografía agreste.⁹

En todo caso, es deseable utilizar sistemas mecánicos de descarga de los residuos sólidos, en los sitios de disposición final. Caso contrario deberá considerarse los tiempos que tomarían los sistemas manuales de descarga. En este aspecto podría pensarse también en aditamentos en las cajas que faciliten estas tareas, tales como pisos inclinados y puertas laterales.

Finalmente, es importante mencionar que también se ha utilizado otros tipos de vehículos como carretones halados por animales, tractores agrícolas con contenedores, bicicletas con canastillas o triciclos empujados por fuerza humana, etc. Cada uno presenta ventajas y desventajas que responden a la realidad de los sitios donde se han implementado. Para todos los casos se deberá establecer rendimientos estándar y realizar estudios de tiempos y movimientos, y calcular los costos del caso para tener los valores reales de los servicios. Es recomendable comparar varias alternativas para establecer la que mejores condiciones presente para la localidad donde se implemente.

Con la decisión tomada sobre el tipo de equipo a utilizarse, se conformará la cuadrilla de trabajo, donde la variable a analizar es el número de ayudantes o jornaleros de recolección que irán en el vehículo. En algunos casos esta cuadrilla puede ser variable, incrementando personal los días picos de producción de basura. El indicador que ayudará a decidir es Toneladas/ayudante*día, donde el valor estándar regional es del orden de 4,5 a 5,0 Ton/ayudante por día.¹⁰

9 Para profundizar el tema de la selección de los vehículos de recolección, se sugiere visitar: www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/014921.pdf

10 Valor establecido para un compactador de 14 m³, dos viajes, método de recolección de vereda. Fuente: Indicadores para el Gerenciamiento del servicio de limpieza pública. Ing. Fernando Paraguassú de Sá, Ing. Carmen Rojas. CEPIS – OPS. Lima 2002.

2. Dimensionamiento y diseño del servicio de recolección

El dimensionamiento del servicio de recolección se basa en una simplificación de la realidad a través de una ecuación de igualdad en la cual a un lado se encuentran la población y la cantidad de basura que ésta genera (demanda) y en el otro, la capacidad de los vehículos para recolectar y transportar esos residuos.

El lado izquierdo de la ecuación puede determinarse con la siguiente expresión:

$$W = P \times ppc \times f \times c$$

Donde:

- W = Peso total a recolectarse en kilogramos
- P = Población de la ciudad a atenderse
- ppc = Generación per cápita de basura en kg/persona*día
- f = Frecuencia igual a $n/6$. n es el número de días de recolección
- c = Cobertura de recolección

Por ejemplo, si se trata de una población de 100.000 habitantes y se ha decidido optar por una frecuencia interdiaria del servicio, se tendría entonces una macrosectorización inicial.

Como se observa en el Gráfico 12, la ciudad se divide en dos macro sectores, donde toda la flota de vehículos atiende los días lunes, miércoles y viernes al sector A y la misma flota atiende los otros días al sector B.



Entonces, para el cálculo de la flota se asumen los siguientes datos: Población 50.000 habitantes, con una PPC de 0,60 kg/persona/día, planificada a atenderse con frecuencia interdiaria y una cobertura esperada del orden del 90%, el peso a recolectarse sería:

$$W = 50.000 \times 0,60 \times \frac{6}{3} \times 0,90$$

$$W = 54.000 \text{ Kg o } 54 \text{ Ton/día de recolección}$$

El otro lado de la ecuación determina la flota de recolección requerida, y se calcula con la siguiente expresión:

$$F = N_o \times V \times \partial \times g \times N \times T$$

Donde:

N_o = Número de vehículos

V = Volumen de la caja compactadora en metros cúbicos

∂ = Peso volumétrico de la basura suelta en kg/m³

g = Grado o nivel de compactación de la caja compactadora

N = Número de viajes por turno

T = Número de turnos de trabajo al día

En este ejemplo se ha asumido los siguientes datos: se utilizarán camiones de 13 m³ (17 yd³); el peso volumétrico suelto determinado en los estudios de calidad y cantidad es de 250 kg/m³; el grado de compactación obtenido de los catálogos del fabricante es de 2 a 1; y se trabajará en dos viajes por un solo turno al día. Entonces, como se tienen que recolectar 54.000 kg, el número de vehículos necesarios es de:

$$54.000 = N_o \times 13 \times 250 \times 2 \times 2 \times 1$$

$$N_o = \frac{54.000}{13.000}$$

$$N_o = 4,15 \text{ recolectores}$$

Entonces, se requerirían 4 recolectores de 13 m³. Por seguridad, se recomienda siempre tener un 10% de vehículos de reserva. En este ejemplo, significaría un recolector adicional.

Utilizando la misma ecuación se puede realizar el diseño de la sectorización del servicio. En este caso, la incógnita es el número de personas a ser atendidas por un recolector. Para el ejemplo, se toma un vehículo de 13 m³ y se pretende determinar la población que puede atender un vehículo, manteniendo los datos utilizados en los ejemplos anteriores.

$$P \times ppc \times f \times c = N_o \times V \times \partial \times g \times N \times T$$

$$P \times 0,60 \times \frac{6}{3} \times 0,90 = 1 \times 13 \times 250 \times 2 \times 2 \times 1$$

$$P = \frac{13.000}{1,08} \quad P = 12.037 \text{ hab}$$

De manera aproximada, un vehículo para las condiciones asumidas serviría a 12.000 habitantes. Por lo tanto, para hacer la macrosectorización se debería escoger zonas que contengan esa población. En términos de área, se puede determinar ésta con el dato de densidad poblacional.

$$A = \frac{P}{\partial\rho}$$

Donde:

A = Área a ser atendida en hectáreas

P = Población

$\partial\rho$ = Densidad poblacional en habitantes por hectárea

Al diseño realizado es necesario someterlo a pruebas de cumplimiento del tiempo en base a los indicadores de Ton/hora, velocidad de recolección y distancia recorrida.

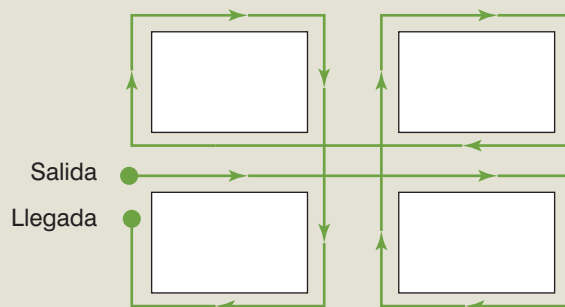
Para esto se deberá tomar en cuenta los diferentes tiempos que se dan en la jornada de trabajo, tales como: tiempo de salida del garage; tiempo hasta que inicie la ruta; tiempo hasta la disposición final; tiempo de descarga en el relleno; tiempo de retorno al segundo viaje; tiempo para la descarga del segundo viaje; y tiempo hasta la llegada a guardar y limpiar el equipo.

Una vez realizada la sectorización, es necesario realizar el diseño del microrroteo. Este consiste en el recorrido que realizará el vehículo en la zona a servirse, para lo cual, igual que para el barrido, el método heurístico es el más apropiado. Se deberá realizar varios intentos hasta establecer el diseño que represente mejores ventajas operativas, optimizando tiempos y kilometrajes.

Algunos ejemplos de arreglos para el trazado de microrrutas se muestran en los Gráficos 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Gráfico 13

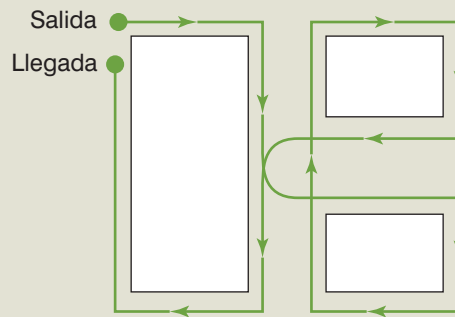
Ejemplo de arreglo para microrruta de cuatro manzanas, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 14

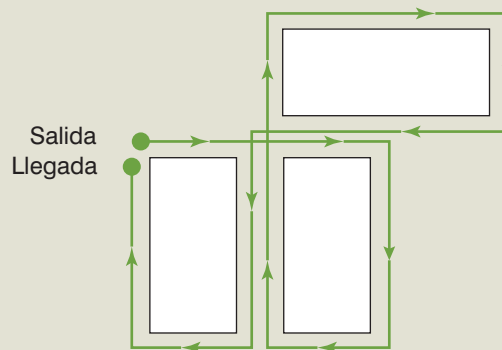
Ejemplo de arreglo para microrruta en tres manzanas, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 15

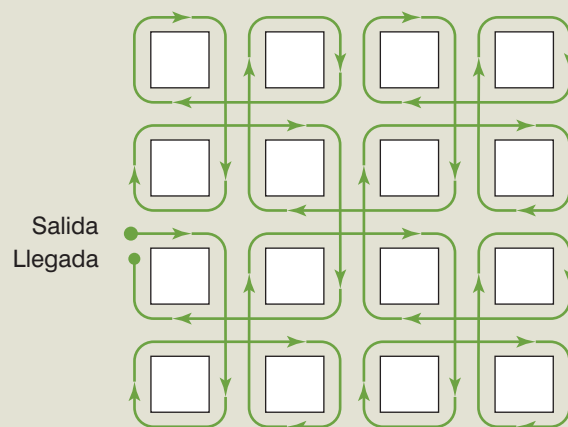
Ejemplo de variación para microrruta en tres manzanas, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 16

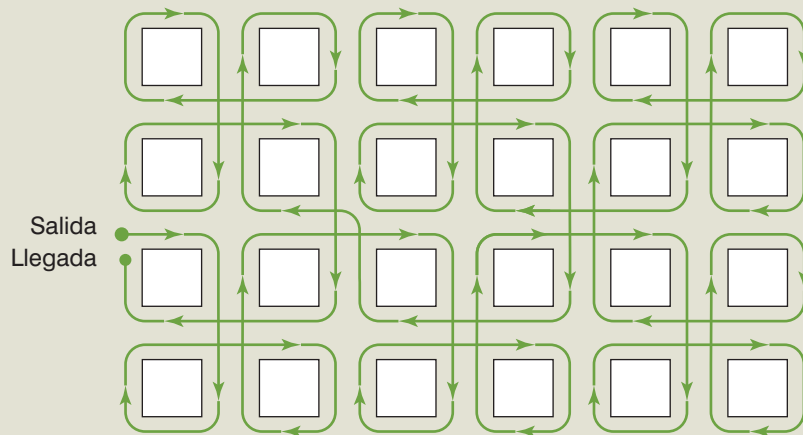
Ejemplo para arreglo de bloque de 4 x 4 manzanas, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 17

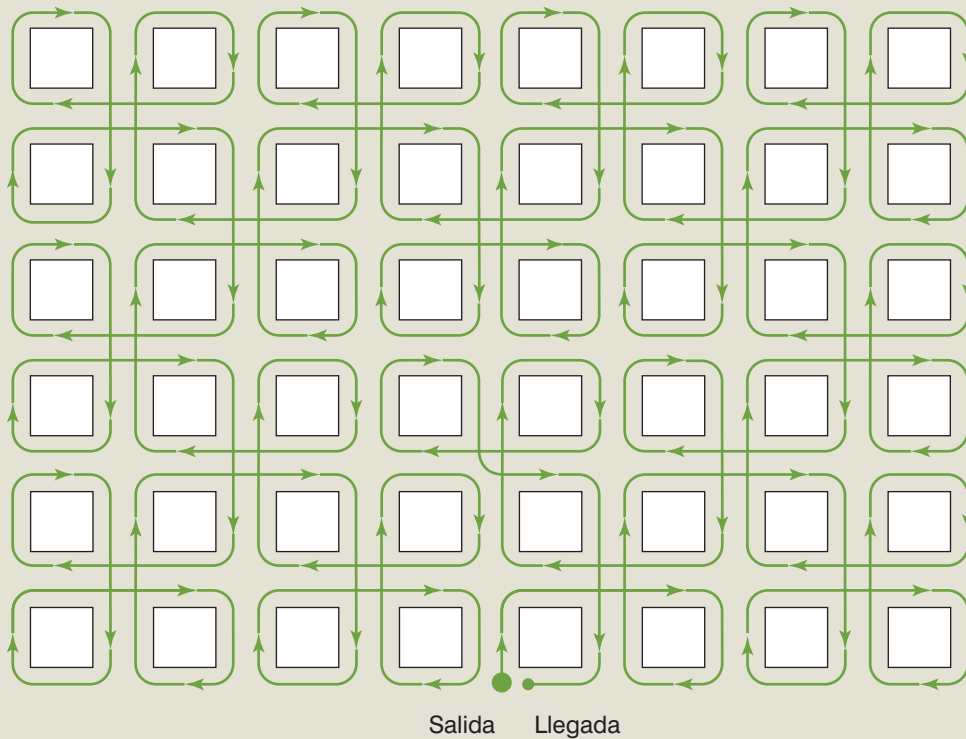
Ejemplo para arreglo de bloque de 6 x 4 manzanas, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 18

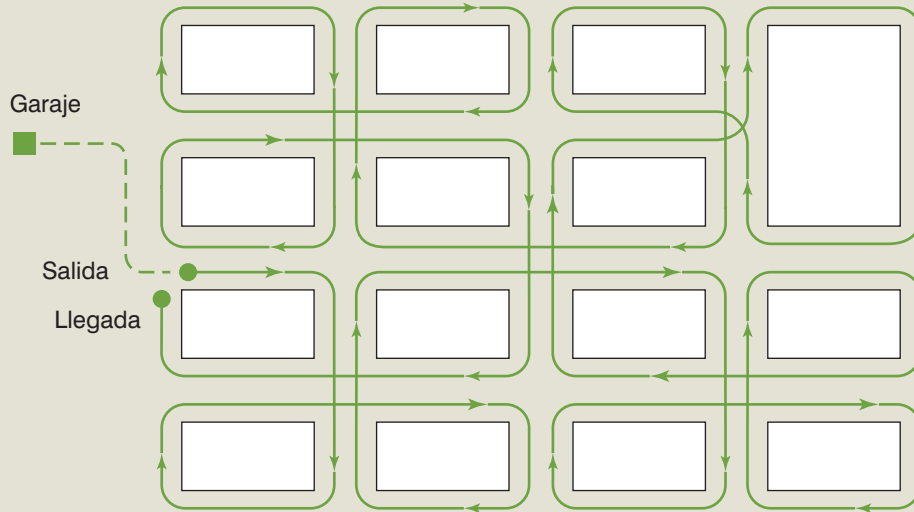
Ejemplo para arreglo de bloque de 6 x 8 manzanas, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 19

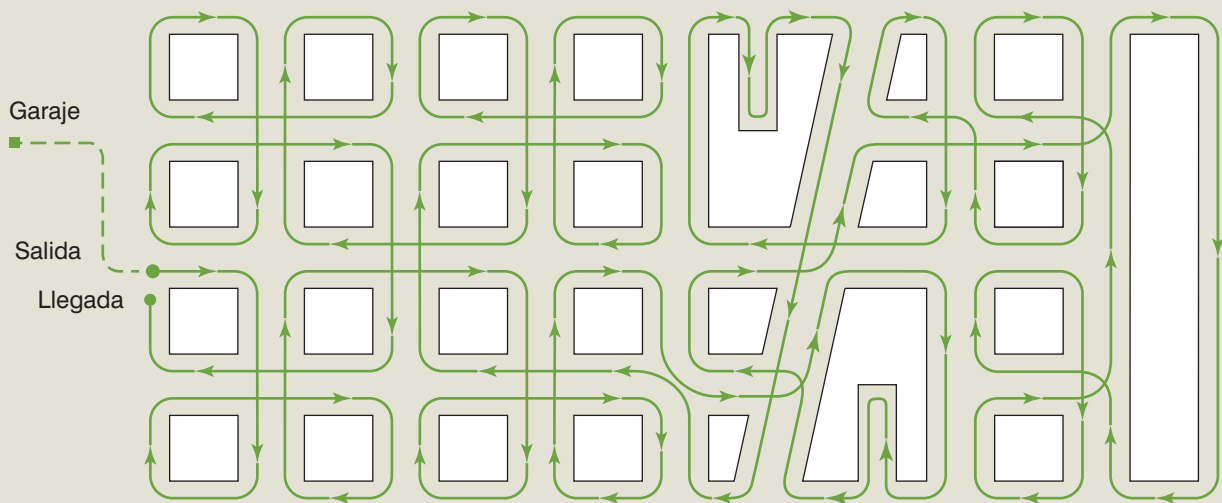
Ejemplo para arreglo de bloque con manzanas irregulares, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Gráfico 20

Ejemplo para arreglo de bloque con manzanas irregulares, con calles en doble sentido



Fuente: Heuristic Routing for solid waste collection vehicles. EPA. 1974

Se debe recalcar que a medida que la población crece, es necesario realizar los cálculos de requerimiento de vehículos recolectores anualmente, para incorporar vehículos para mantener o incrementar la cobertura del servicio. Se muestra el esquema de cálculo en la Tabla 8.

En la Tabla 8 se puede observar que se mantiene un 10% de la flota como vehículos de reserva, en este caso un recolector adicional. Este vehículo es imprescindible para cubrir daños o mantenimiento de los equipos principales. Para el año 2016, se requeriría incrementar un vehículo adicional y para el año 2017 se debería reponer los 6 recolectores adquiridos en el 2010, si se asume una vida útil de 8 años del servicio. Asimismo, hay que tomar en cuenta los costos de depreciación de la flota para que existan los recursos para su reposición/remplazo, una vez finalizada su vida útil.

Tabla 8. Ejemplo de dimensionamiento del sistema de recolección

COMUNIDAD				DIMENSIONAMIENTO RECOLECCIÓN					
Datos generales:									
Población 2010				50.000					
Período de diseño				10					
Ppc total				0,600					
Incremento anual PPC				0,005					
TCD = Tasa Crecimiento Demográfico				2,5%					
Tipo de recolección				Vereda					
Capacidad de vehículos recolectores				6,5	Toneladas – caja de 13 m ³ (17 y d ³)				
Número de viajes/turno				2,0					
Número de turnos				1					
Frecuencia				Interdiaria					
Cobertura asumida				90%					
AÑO	NÚMERO DE AÑOS	NÚMERO DE HABITANTES	PPC	TON/DÍA GENERADAS	TON/DÍA RECOLECTADAS	CANTIDAD RECOLECTADA	RESERVA	TOTAL FLOTA	REPOSICIÓN
2010	0	50.000	0,600	60,00	54,00	5,00	1,00	6,0	
2011	1	51.250	0,605	62,01	55,81	5,00	1,00	6,0	
2012	2	52.531	0,610	64,09	57,68	5,00	1,00	6,0	
2013	3	53.845	0,615	66,23	59,61	5,00	1,00	6,0	
2014	4	55.191	0,620	68,44	61,59	5,00	1,00	6,0	
2015	5	56.570	0,625	70,71	63,64	5,00	1,00	6,0	
2016	6	57.985	0,630	73,06	65,76	6,00	1,00	7,0	
2017	7	59.434	0,635	75,48	67,93	6,00	1,00	7,0	6,0
2018	8	60.920	0,640	77,98	70,18	6,00	1,00	7,0	
2019	9	62.443	0,645	80,55	72,50	6,00	1,00	7,0	
2020	10	64.004	0,650	83,21	74,89	6,00	1,00	7,0	

3. Costos del servicio

Este aspecto requiere especial control y supervisión por ser uno de los componentes del servicio de aseo más caros (del orden del 60% al 80% del costo global del servicio). Es indispensable contar con un adecuado sistema de supervisión que monitoree permanentemente la operación del servicio porque en muchos casos no se aprovecha eficientemente la capacidad de la flota y esto ocasiona que el costo por tonelada recolectada se incremente notablemente.

La supervisión debe ser aleatoria y constante. Además, se debe implementar una hoja de ruta para registrar los aspectos fundamentales de la jornada, como se describió en el Capítulo 4. Esta es una fuente fundamental para obtener indicadores reales del servicio y hacer ajustes operativos para la mayor eficiencia del equipo.

Se debe realizar un sistema de costos que considere los siguientes aspectos:

- Costos de inversión, incluyendo la reposición de los equipos que han cumplido su vida útil
- Costos de capital o depreciación, con el fin de tener recursos para reemplazar los vehículos cuando cumplan su vida útil
- Costos de personal que incluyan choferes, ayudantes de recolección, supervisores, y costos proporcionales del personal administrativo y directivo
- Control y registros de costos operativos del equipo, como combustible, lubricantes, mantenimiento, etc. Como los equipos representan un aspecto clave para el funcionamiento del servicio, requieren especial cuidado por las altas inversiones que representan. Para ello, se debe hacer mantenimientos preventivos a los kilometrajes especificados por el fabricante, llevar registros de los mantenimientos efectuados y los requeridos a futuro a fin de que el o los vehículos de reserva reemplacen a los principales, mientras éstos reciben mantenimiento. Así mismo, es importante hacer una cuidadosa selección de los choferes, escogiendo aquellos que se caractericen por ser cuidadosos y responsables con los equipos asignados
- Costos de los uniformes, herramientas, equipos de protección personal, etc.
- Pagos requeridos de cualquier préstamo/créditos pendiente
- Costo por tonelada que se establecerá sumando todos los costos reales del servicio al año y dividiendo para el total de toneladas recolectadas. Este valor debe ser monitoreado año a año para gerenciar el funcionamiento del servicio

Un ejemplo de los cálculos a realizarse se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9
Ejemplo de costeo del servicio

COMUNIDAD						DIMENSIONAMIENTO RECOLECCIÓN								
Datos generales:														
Por cada vehículo recolector trabajan						2	jornaleros							
Por cada camión trabajan						2	jornaleros							
Costo de un recolector 12 m ³						120.000	USD							
Costo camión 6 m ³ mercados						70.000	USD							
Salario mensual chofer						235,00	USD							
Salario mensual jornalero recolección						241,09	USD							
Se considera una reserva para jornaleros y choferes						10%								
AÑO	CAMIONES RECOLECTORES REQUERIDOS	CAMIONES RECOLECTORES A ADQUIRIR	CAMIONES PARA MERCADOS	JORNALEROS	CHOFERES	COSTOS DE INVERSIÓN			COSTOS DE OPERACIÓN SIN COSTOS DE CAPITAL					
						RECOL. 12 m ³	CAMIÓN 6 m ³	INVERSIÓN	UNIFORMES Y HERRAMIENTAS	SALARIOS	CAMIÓN RECOLECTOR	CAMIÓN RECOLECTOR DIF.	COSTO OPERACIÓN	
2007	2,00	1,00	0,000	5,00	3,00	120.000	0,00	120.000	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2008	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2009	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2010	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2011	2,00	1,00	0,000	5,00	3,00	120.000	0,00	120.000	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2012	2,00	1,00	0,000	5,00	3,00	120.000	0,00	120.000	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2013	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2014	2,00	1,00	0,000	5,00	3,00	120.000	0,00	120.000	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2015	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2016	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2017	2,00	0,00	0,000	5,00	3,00	0	0,00	0	1.703,25	22.925,40	45.894,16	0,00	70.312,81	
2018	3,00	1,00	0,000	7,00	4,00	120.000	0,00	120.000	2.342,75	31.531,56	68.526,24	0,00	102.400,55	
2019	3,00	2,00	0,000	7,00	4,00	120.000	0,00	120.000	2.342,75	31.531,56	68.526,24	0,00	102.400,55	
2020	3,00	0,00	0,000	7,00	4,00	240.000	0,00	240.000	2.342,75	31.531,56	68.526,24	0,00	102.400,55	
2021	3,00	0,00	0,000	7,00	4,00	0	0,00	0	2.342,75	31.531,56	68.526,24	0,00	102.400,55	
2022	3,00	0,00	0,000	7,00	4,00	0	0,00	0	2.342,75	31.531,56	68.526,24	0,00	102.400,55	

COSTO DE UNIFORMES			
CONCEPTO	CANTIDAD/AÑO	PRECIO	TOTAL
Uniforme	2	20,00	40,00
Impermeable	1	15,00	15,00
Casco	2	12,00	24,00
Botas cuero c/puntera	2	30,00	60,00
Guantes cuero	12	5,00	60,00
Faja	1	10,00	10,00
Subtotal			209,00

COSTO DE HERRAMIENTAS			
CONCEPTO	CANTIDAD/AÑO	PRECIO	TOTAL
Escobas	0,5	2,50	1,25
Pala	0,5	10,00	5,00
			-
Subtotal			6,25
Total uniformes y herramientas			215,25

CÁLCULO COSTOS CAPITAL		
ITEM	CAMIÓN	RECOL.
Valor equipo	70.000	100.000
Vida útil	8	8
Valor rescate	0	0
Interés	0,08	0,08
Depreciación anual	8.750	12.500
Costos de capital	12.181,03	17.401,48

COSTO DE OPERACIÓN RECOLECTOR 12 m ³				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO ANUAL
Diesel	GAL	3.744,00	1,20	4.492,80
Lubricantes	GLOBAL	1,00	449,28	449,28
Batería	UNIDAD	1,00	150,00	150,00
Llantas	UNIDAD	7,00	250,00	1.750,00
Mantenimiento	GLOBAL	1,00	12.000,00	12.000,00
Placas, seguro	GLOBAL	1,00	4.000,00	4.000,00
Subtotal				22.842,080

COSTO DE OPERACIÓN CAMIÓN MERCADOS				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO ANUAL
Diesel	GAL	3.120,00	1,30	3.744,00
Lubricantes	GLOBAL	1,00	374,40	374,40
Batería	UNIDAD	1,00	150,00	150,00
Llantas	UNIDAD	7,00	240,00	1.680,00
Mantenimiento	GLOBAL	1,00	7.000,00	7.000,00
Placas, seguro	GLOBAL	1,00	2.800,00	2.800,00
Subtotal	15.748,40	2.022	22,10	8.066,50

COSTO TONELADA RECOLECTADA		
AÑO	TONELADA RECOGIDA/DÍA	TONELADA/AÑO
2007	15,01	5.478,65
2008	15,43	5.631,95
2009	15,86	5.788,90
2010	16,29	5.945,85
2011	16,74	6.110,10
2012	17,21	6.281,65
2013	17,68	6.453,20
2014	18,17	6.632,05
2015	18,67	6.814,55
2016	19,19	7.004,35
2017	19,72	7.197,80
2018	20,26	7.394,90
2019	20,82	7.599,30
2020	21,39	7.807,35
2021	21,98	8.022,70
2022	22,10	8.066,50





CAPÍTULO 7

Disposición final de los residuos

La última fase del sistema de aseo es la disposición final de los residuos recolectados y de los desechos de los procesos de tratamiento.

En muchos casos, se implementan unidades de procesamiento, tratamiento y transformación de los residuos para mejorar las características de los residuos previo a la disposición (por ejemplo, trituradores o recuperación de materiales), así como transformarlos en otros de menores características de toxicidad o útiles para otras aplicaciones (por ejemplo, incineración, compostaje, etc.).

Entre los tipos de procesos que se dan previo a la disposición, se puede señalar los físicos, los térmicos y los biológicos.

Los tratamientos físicos puede ser:

- Separación de componentes de los residuos sólidos. Esto implica separación ya sea manual o mecánica, y tiene como objetivo homogeneizar la masa de residuos, teniendo como aplicación la recuperación de materiales reutilizables y reciclables como papel, plástico, cartón, etc. También se puede separar determinados materiales de tipo peligroso o molestos, que se encuentran en los residuos, tales como pilas, baterías, llantas, etc. Más detalles sobre este componente se detallan en el Capítulo 8.
- Reducción mecánica de volumen. Tiene por objeto reducir el volumen inicial ocupado por los residuos, utilizando presión. Un ejemplo de esto se da en los rellenos sanitarios al compactar los residuos para aumentar la vida útil del relleno sanitario.
- Reducción mecánica de tamaño. Se refiere a la utilización de equipos mecánicos para obtener un producto final uniforme y de tamaño reducido respecto a su forma original. Una aplicación de este proceso sirve para la separación de artículos voluminosos, útil en plantas de compostaje. Como ejemplo de estos equipos se puede mencionar los trituradores de martillo, de vidrio, de madera, etc.

Los tratamientos térmicos tienen por objetivo la reducción del volumen o de la toxicidad de los residuos así como el aprovechamiento de los residuos para generación de energía. El proceso de combustión debe ser controlado y manejado técnicamente para minimizar efectos secundarios del proceso, como la generación de gases tóxicos. Si bien los tratamientos térmicos presentan algunas ventajas –reducción de peso y volumen entre un 80 y 90%, tiempos de residencia cortos, cenizas estabilizadas y ocupan poco espacio de rellenos sanitarios– también requieren equipos especiales con altos costos de inversión y de operación, e indispensablemente de un relleno sanitario para depositar las cenizas. En algunos casos se utilizan los residuos para reciclaje energético, utilizándolos como combustible alternativo. Estos equipos son patentados y generalmente requieren gran cantidad de residuos para justificar sus altos costos.

El tratamiento biológico se basa en que ciertos materiales o contaminantes contenidos en los residuos son alimento o sustrato para poblaciones de bacterias y otros microorganismos que en el proceso de su alimentación, degradan estos compuestos en sustancias más simples que pueden ser absorbidas en la naturaleza o aprovechadas como insumos para otros procesos, tal como ocurre con el biogás. Existen dos tipos de procesamiento biológico, que se diferencian por la forma de respiración de los organismos involucrados en el proceso, estos tipos son aeróbico y anaeróbico.

- El proceso **aeróbico** se caracteriza por realizarse con presencia de oxígeno. Sus productos finales son principalmente agua, dióxido de carbono y calor que es útil para eliminar organismos patógenos existentes en los residuos. Este proceso se explica con más detalles en el Capítulo 10.
- La respiración **anaeróbica** se da en ausencia de oxígeno y presenta un proceso más lento. Los principales resultantes son: compuestos minerales, dióxido de carbono y metano. Se caracteriza también por la generación de malos olores.

Por lo descrito, a pesar de que se apliquen diferentes tipos de procesamiento y tratamiento a los residuos sólidos, siempre se requerirá un sitio para la disposición de los desechos en el suelo. Para manejar y confinar los desechos de manera definitiva y adecuada para minimizar los efectos hacia el ambiente, se ha desarrollado la técnica de los rellenos sanitarios. Esto cobra más importancia, porque la mayor cantidad de residuos todavía son depositados directamente en el suelo sin ningún procesamiento preliminar o tratamiento y, en muchos casos sin las medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación de suelo, agua y aire.

1. Procesos al interior del relleno sanitario

Un relleno sanitario es un reactor, es decir, un sitio donde se da una serie de procesos físicos, químicos y biológicos entre los elementos sumamente heterogéneos que se hallan en su interior. Este contenido variará en función de cada localidad, del procesamiento que se dé a los residuos y del tipo y características de los residuos sólidos que se depositen.

Por lo mencionado, es necesario conocer lo que sucede al interior de este reactor para predecir su comportamiento y tomar las medidas de control adecuadas. A continuación se realiza una síntesis de las complejas actividades y reacciones que se dan al interior de un relleno sanitario.

El agua lluvia se percola a través del cuerpo del relleno, dándose un proceso de dilución de estas sustancias, formando los lixiviados. Se dan procesos de absorción y desorción, cambios de pH, arrastre de partículas con cambios de salinidad y potencial de óxido-reducción, etc.

Los procesos biológicos también son sumamente complejos, pues la materia orgánica es degradada en el tiempo por una serie de microorganismos especializados en los diferentes compuestos que se van formando en el proceso. La mayor parte de la degradación es de tipo anaeróbico de acuerdo a las profundidades de las celdas y plataformas donde no existe oxígeno.¹¹

El proceso de biodegradación anaeróbica tiene cuatro fases:

- Hidrólisis
- Acidogénesis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

En la fase de hidrólisis, la materia orgánica presente en los residuos sólidos, que generalmente están en forma sólida, se hidroliza. Es decir, las sustancias de alto peso molecular (polisacáridos, lignina, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos) se transforman en sustancias más simples como peptonas, aminoácidos, azúcares simples, ácidos orgánicos y alcoholes.

En la fase de acidogénesis, los ácidos grasos, los aminoácidos y los azúcares son degradados a alcoholes, CO₂, H₂ y ácidos grasos volátiles, por las bacterias denominadas acidogénicas. A su vez los aminoácidos son degradados en ácidos grasos volátiles, CO₂ y NH₃.

En las fases de hidrólisis y acidogénesis, en el relleno sanitario baja el pH y se tiene una carga orgánica elevada en los lixiviados.

En la fase de acetogénesis, los ácidos y alcoholes formados en la fase anterior son transformados en acetato, gas carbónico e hidrógeno por las bacterias acetogénicas. Este proceso se caracteriza por su lentitud.

11 Robles Martínez, Fabián. 2008. *Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios*. Instituto Politécnico Nacional. Segunda Edición. México.

La fase metanogénica se da en estrictas condiciones anaeróbicas, donde el ácido acético y el metanol se reducen a gas carbónico y metano (CH₄).

Al interior del relleno, en las fases de acetogénesis y metanogénesis, sube progresivamente el pH, se tiene una disminución de la carga orgánica de los lixiviados, alta de producción de biogás y rica en metano. En la maduración del relleno sanitario se tiene la estabilización de la materia orgánica y una caída de la producción de biogás como consecuencia del agotamiento de los sustratos.

De lo descrito, se observa cómo en el proceso de confinación de los residuos sólidos en un relleno sanitario se genera una serie de subproductos, propios del proceso de degradación de la materia orgánica (por ejemplo, lixiviados y biogás), que necesita ser debidamente controlada para evitar la contaminación del ambiente.

2. Conceptos de relleno sanitario

A continuación se menciona algunos conceptos de relleno sanitario.

De acuerdo a las normas mexicanas se define como “una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales”.¹²

La Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, en inglés) plantea el siguiente concepto:

Relleno sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública, método éste que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y para cubrir la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada.

De las definiciones mencionadas, queda claro que un relleno sanitario requiere un diseño y manejo técnicos, con el fin de contener en el suelo la mayor cantidad de residuos sólidos (urbanos y especiales de ser el caso), compactándolos, y con la implementación de una serie de componentes que permitan controlar o minimizar los impactos ambientales y de salud en cumplimiento con los marcos legales de cada localidad.

Un aspecto que no se contempla en los conceptos mencionados es la necesidad de realizar un profundo análisis técnico para su ubicación.

12 Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

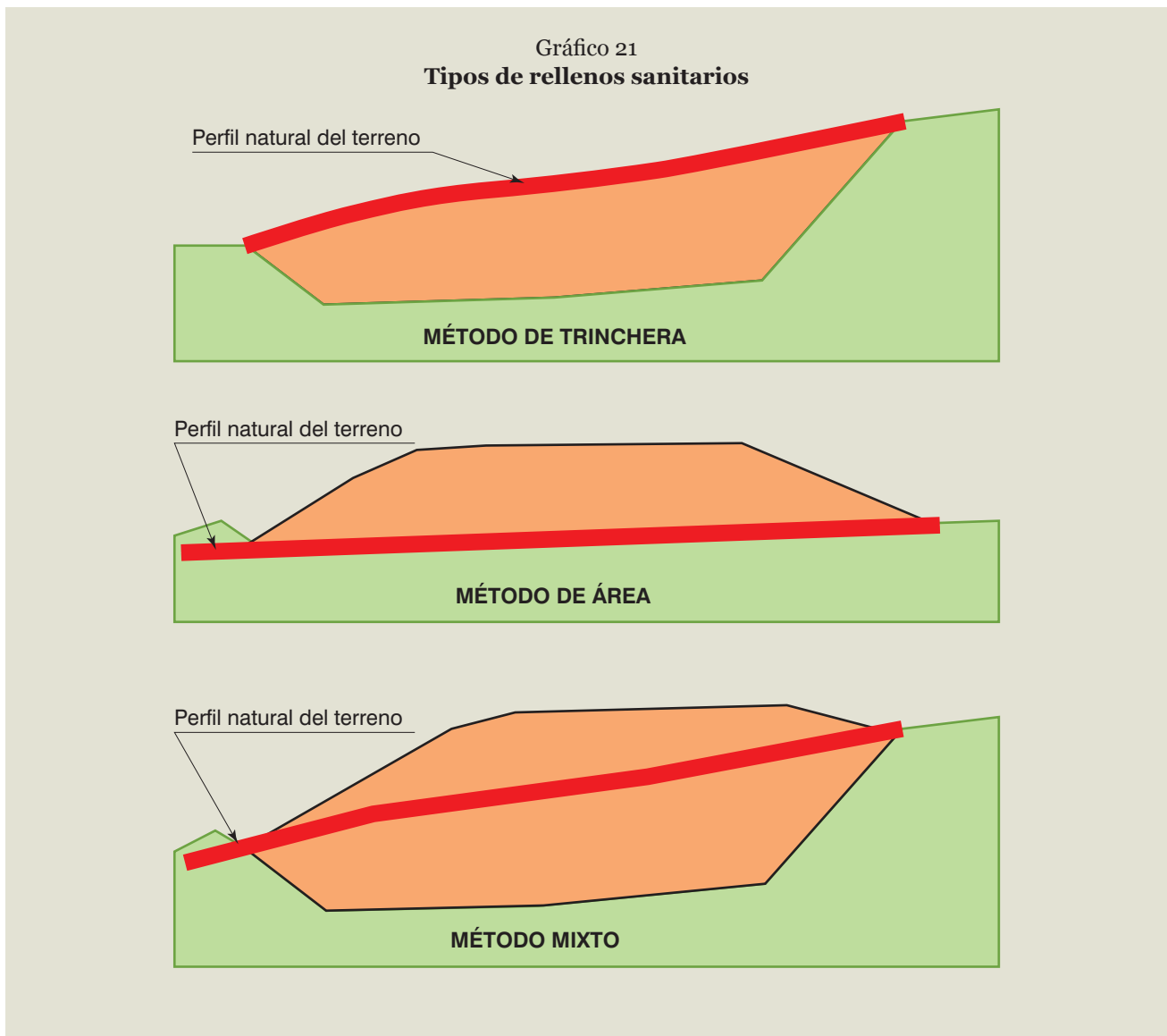
3. Tipos de rellenos sanitarios

Según el tipo de residuos sólidos que se va a disponer en su interior, los rellenos sanitarios se clasifican en:

- Rellenos sanitarios comunes. Estos son rellenos para residuos sólidos urbanos, de características similares a los residuos domésticos, es decir, sin residuos tóxicos o peligrosos
- Rellenos sanitarios de seguridad o de residuos tóxicos y peligrosos

Por la forma como se conforma el vaso o cuerpo del relleno pueden ser:

- Rellenos sanitarios de trinchera
- Rellenos sanitarios de área
- Rellenos sanitarios mixtos



El **método de trinchera** consiste en excavar bajo el nivel de la superficie del terreno para, en ese espacio, depositar los residuos. El material removido sirve como material de cobertura para tapar las celdas. Las principales desventajas que se presentan son: mayor costo por movimiento de tierras y en muchos casos se requiere de bombeo para la evacuación de lixiviados.

El **método de área** aprovecha las bajas pendientes de los terrenos para crear el relleno sobre la superficie del terreno. Es una buena alternativa que facilita el manejo de lixiviados. En ciertos casos, si no existe material de cobertura cerca, se puede encarecer la operación.

El **método mixto** es el más utilizado y es la mezcla de los dos métodos mencionados anteriormente. Este método permite aprovechar mejor el área disponible para el relleno sanitario.

Dependiendo del tipo de equipos a utilizarse, los rellenos sanitarios pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Rellenos sanitarios manuales
- Rellenos sanitarios semimecanizados
- Rellenos sanitarios mecanizados

De acuerdo a la “Guía para el Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales”, de Jorge Jaramillo. OPS. 2002, se establece como valores referenciales los siguientes para definir el método de operación en el relleno:

- Un **relleno sanitario manual** se aplica para poblaciones que generan menos de 15 toneladas por día. El argumento principal mencionado es la falta de recursos económicos para los costos de inversión y operación del equipo mecánico.
- Un **relleno sanitario semimecanizado** se aplica para poblaciones que generan entre 16 a 40 toneladas de desechos por día. El apoyo de equipo mecánico sería para actividades puntuales como compactación de los residuos y las restantes se ejecutan manualmente.
- Un **relleno sanitario mecanizado** se aplica para poblaciones que generan más de 40 toneladas por día.

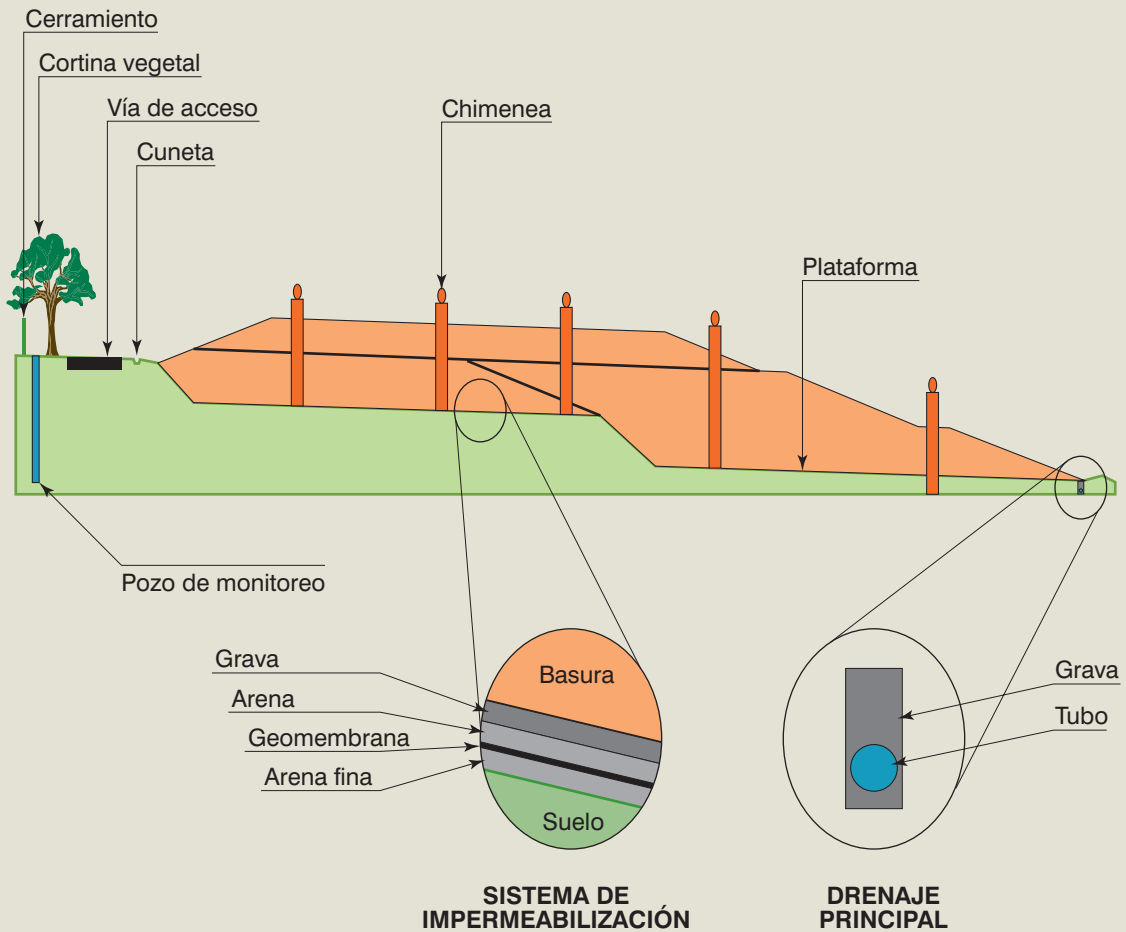
Como se explica más adelante, la determinación del método de operación es clave en la toma de decisiones para la implementación de un relleno sanitario, comparando los costos de inversión y operación versus la compactación y vida útil del relleno.

4. Componentes del relleno sanitario

Una vez que se conocen los principales subproductos que se generarán en este tipo de instalaciones, los principales componentes de un relleno sanitario pueden describirse.

- Plataformas donde se dispondrán los residuos sólidos, excavadas o preparadas sobre la superficie del terreno.
- Dependiendo de los estudios geológicos y geotécnicos, la base del relleno debe prepararse para evitar la contaminación por la infiltración de los lixiviados hacia los estratos inferiores del suelo. En el ejemplo, se ha utilizado geomembrana para la impermeabilización del suelo,
- Sistema de recolección, evacuación y tratamiento de los lixiviados. El colector principal está ubicado en el borde inferior del relleno.
- Las celdas de residuos sólidos debidamente compactadas se ubican sobre las plataformas.
- En la parte superior, hay cunetas de coronación y de desvío de las aguas de escorrentía que pudieran ingresar al relleno. Se debe enfatizar que a menor cantidad de agua que ingrese al relleno se minimizará la cantidad de lixiviados generados.
- Vías de acceso para permitir la entrada de los camiones de recolección al frente de trabajo para la descarga de los residuos.
- Una cortina vegetal se usa para aislar al relleno de sus alrededores. A más del aislamiento visual del relleno, este componente evita la salida de material suelto, como papeles y plásticos, fuera del relleno.
- Un cerramiento perimetral para evitar el ingreso de personas y animales al interior del relleno es necesario.
- Pozos de monitoreo deben instalarse para establecer la presencia de contaminación por migración de lixiviados desde el relleno.
- Chimeneas y quemadores de metano son necesarios para evacuar los gases, y destruir el metano.

Gráfico 22
Componentes del relleno sanitario



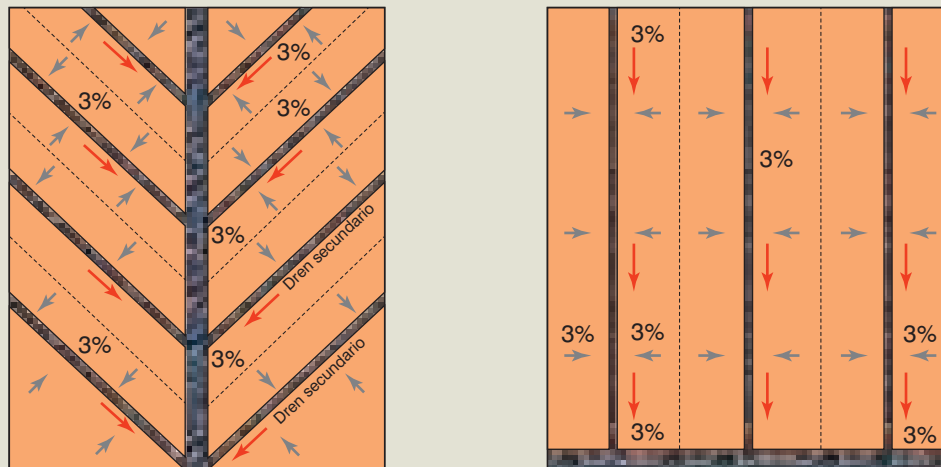
En el Gráfico 22 no se observa los componentes: caseta de guardianía y registro, báscula, bodegas, mecánica, oficinas administrativas, ni el tratamiento de lixiviados. Algunos de los componentes pueden ser opcionales, como la creación de taller mecánico y la báscula, dado que su construcción dependerá del tamaño del relleno y de cantidad de toneladas a manejarse. Lo que es imprescindible en todos los casos es la gestión y tratamiento de los lixiviados, para el cumplimiento de la normativa legal.

En cuanto a los sistemas de drenaje, se puede indicar los siguientes tipos:

- Espina de pescado
- Longitudinal

Gráfico 23

Algunas formas de drenaje de lixiviados



En el caso del **drenaje de espina de pescado** se tiene el drenaje principal constituido de una tubería perforada y material granular para facilitar el drenaje del lixiviado. Generalmente, el drenaje va recubierto de geotextil para evitar la obstrucción del material granular por ingreso de partículas finas. El drenaje secundario se encuentra a 45° del drenaje principal y la distancia entre ramales secundarios puede ser de 25 a 30 m. La pendiente sugerida para los drenes es del orden del 3% y las caídas hacia los drenajes secundarios son igualmente con pendientes del 3%.

El **drenaje longitudinal** mantiene los principios enunciados, a diferencia del empate a 90° con el drenaje principal que se encuentra en la parte más baja del relleno.

5. Dimensionamiento del relleno sanitario

Como se describió en la conceptualización del relleno, el aspecto clave para aumentar la vida útil de un relleno sanitario es la compactación de los residuos sólidos dentro de las plataformas preparadas para este fin. Para esto se requiere de equipos que permitan aumentar la compactación para que la densidad de los residuos dentro del relleno aumente a valores semejantes a los 700 kg/m³ o más.

Para rellenos sanitarios manuales se recomienda optar por densidades del orden de 500 kg/m³ (Jaramillo, 2002).

Tabla 10
Estimación del área del relleno sanitario

DATOS GENERALES							
Densidad compactada en relleno sanitario	500 Kg/m ³						
Porcentaje del volumen de cobertura	20% del volumen de los residuos sólidos						
Altura promedio del relleno sanitario	6 metros						
Porcentaje adicional del área para facilidades	20% del área neta del relleno						
AÑO	R.S. TOTAL TON/DÍA	R.S. TOTAL TON/AÑO	R.S. DOMÉSTICOS m ³ /DÍA	R.S. DOMÉSTICOS m ³ /AÑO	VOLÚMENES R.S. ACUMULADO m ³ /AÑO	VOLUMEN TOTAL ACUMULADO m ³ /AÑO	ÁREA REQUERIDA TOTAL (Ha)
2010	2,42	883,19	4,84	1766,38	1766,38	2119,66	0,04
2011	2,59	945,01	5,18	1890,01	3656,39	4387,67	0,09
2012	2,77	1009,93	5,53	2019,85	5676,24	6811,49	0,14
2013	2,96	1078,98	5,91	2157,97	7834,21	9401,05	0,19
2014	3,17	1155,55	6,33	2311,10	10145,31	12174,38	0,24
2015	3,38	1232,71	6,75	2465,44	12610,75	15132,91	0,30
2016	3,61	1318,18	7,22	2636,36	15247,11	18296,53	0,37
2017	3,86	1408,34	7,72	2816,69	18063,80	21676,56	0,43
2018	4,13	1507,27	8,26	3014,53	21078,33	25294,00	0,51
2019	4,42	1612,05	8,83	3224,09	24302,42	29162,91	0,58
2020	4,72	1722,42	9,44	3444,85	27747,27	33296,73	0,67
2021	5,04	1839,50	10,08	3679,01	31426,28	37711,54	0,75
2022	5,39	1967,03	10,78	3934,06	35360,34	42432,41	0,85
2023	5,76	2101,45	11,51	4202,89	39563,23	47475,88	0,95
2024	6,16	2247,54	12,32	4495,08	44058,31	52869,97	1,06
2025	6,58	2402,12	13,16	4804,24	48862,56	58635,07	1,17

Dentro de la selección de este parámetro está intrínseca la selección del equipo requerido, tomando en cuenta que la compactación está directamente relacionada con el peso del equipo que es transmitido hacia las celdas a través de las orugas del equipo. Así mismo, cobra importancia el número de pasadas que el equipo debe realizar sobre la masa de basura para lograr la compactación deseada.

Otro factor que depende del equipamiento disponible es la altura de la celda. Por ejemplo, con equipo pesado y de gran potencia como compactadores de rellenos y tractores pesados, no existiría inconvenientes en manejar celdas de hasta 5 m de altura (de residuos compactados). Si el relleno fuera operado manualmente, tal vez lo más recomendable sería celdas de un metro de alto (de residuos compactados), compactando los residuos con pisonos de madera o tanques de 55 galones con líquido a medio llenar, etc.¹³

Una vez que se ha definido la forma de operación del relleno sanitario, se realiza el dimensionamiento del mismo para conocer el área requerida para implementar el relleno.

En la Tabla 10, se observa el cálculo del área requerida para un relleno de 15 años de vida útil, a ser operado manualmente. La altura de las celdas sería de 1 m, con una altura máxima del relleno de 6 m. Se estima que un 20% del volumen del relleno corresponde al material de cobertura a utilizarse en el tapado diario de las celdas. Además, se considera un 20% de área para vías.

De acuerdo al cálculo efectuado en el ejemplo, se requeriría un terreno de 1,2 hectáreas o de 12.000 m². Para el mismo ejemplo, pero utilizando una minicargadora para compactar, con la cual se alcanzaría 700 kg/m³, el área requerida sería de 0,84 hectáreas o 8.400 m².

6. Ubicación del relleno sanitario

Una vez definida el área requerida, se inicia la fase de ubicación de probables alternativas para ubicar el relleno. Para eso, se utilizan dos métodos:¹⁴

- Por conocimiento del área
- Por mapas sobrepuestos

En el caso del **método de conocimiento del área**, en algunas localidades ya se tienen predefinidos posibles sitios para ubicar este tipo de infraestructura. Hay empleados municipales que en el desarrollo de sus actividades tienen un buen conocimiento del territorio, con la ubicación probable de sitios para este fin. Lógicamente, estos sitios deben ser sometidos a un análisis técnico para la decisión final.

13 Para más información sobre rellenos sanitarios manuales, visitar: http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/tecapropiada/desinfec/rellenos_sanitarios.htm

14 Collazos, Héctor. 2005. *Diseño y operación de rellenos sanitarios*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

El **método de mapas sobrepuestos** es ampliamente utilizado y se basa en información geográfica de aspectos claves para la selección de los sitios, tales como: pendientes del terreno, uso del suelo, ubicación de ciudades, infraestructura, recursos hídricos, bosques y áreas protegidas, etc. En cada capa o “layer”, se especifica sitios aptos, medianamente aptos o inapropiados para ubicar un relleno sanitario. Generalmente, estos condicionamientos vienen dados por el marco legal de cada país o región. Luego, con la utilización de sistemas de información geográfica, se procesa la información realizando una sobreposición de la información, determinándose finalmente zonas que cumplen o son aptas para los criterios analizados.

Los criterios de análisis, entre otros, podrían ser:

- Ubicación de centros poblados
- Distancias a los centroides de producción de residuos
- Accesibilidad y existencia de vías
- Área disponible, contrastada con la obtenida en la tabla de dimensionamiento
- Pendiente del suelo
- Uso actual del suelo
- Zonas con riesgo de inundación, riesgo volcánico
- Geología
- Profundidad del manto freático
- Áreas protegidas, bosques protectores, santuarios de vida animal
- Tipos de suelo, permeabilidad
- Aspectos sociales, incluyendo la aceptación ciudadana al proyecto

Finalmente, se identifican probables alternativas de ubicación dentro de las cuales se debe priorizar la que presente las mejores ventajas técnicas, ambientales, económicas y sociales. Para esto se asigna un sistema de puntaje o de factores de peso a cada factor de análisis, llegándose a determinar la que mejores ventajas presente.

En el estudio de caso de Puerto Ayora, en la isla Santa Cruz, que se describe más adelante, se muestra un ejemplo de esta metodología utilizada para la selección del sitio del relleno sanitario.

En el sitio seleccionado, se debe realizar una serie de estudios de ingeniería básica para contar con suficiente información para los diseños definitivos. En general, los estudios básicos requeridos son:

- Estudio topográfico
- Estudio geotécnico
- Estudio geológico – hidrogeológico
- Estudio de generación y composición de los residuos
- Estudio de generación de lixiviados

7. Diseño del relleno sanitario

En base a los estudios de ingeniería y a las decisiones sobre el tipo de relleno a implementarse, se hace la implantación del relleno y el plan maestro del mismo. Para esto, sobre la topografía del sitio se monta el área de relleno, así como en cortes se realiza la ubicación vertical de las plataformas del relleno, procurando minimizar los movimientos de tierra que pueden encarecer el proyecto. Se debe tener cuidado con la ubicación de los drenajes para evitar profundizarse demasiado con el dren principal, que debe conducir los lixiviados hacia su tratamiento.

El plan maestro establece la forma como se implementará el relleno sanitario en su vida útil, definiendo la forma de ocupación de las celdas, plataformas y fases en la vida útil del relleno.

Una vez definidas las áreas de tratamiento y las plataformas del relleno, se deberá proceder al diseño del sistema de drenaje e impermeabilización del relleno. En base a los estudios geotécnicos, geológicos e hidrogeológicos y especialmente al valor de la permeabilidad del terreno se deberá configurar la base del sitio. En caso de existir arcilla, se podrá utilizar esta en capas compactadas de 20 o 30 centímetros. En su ausencia, se utiliza geomembranas de alta densidad. Dependiendo del nivel freático de las aguas subterráneas se deberá evitar la migración de los lixiviados hacia los mantos freáticos. La bibliografía especializada y las normas de algunos países recomiendan un valor de permeabilidad de la capa inferior de 1×10^{-7} metros/segundo.

7.1 Diseño de celdas y plataformas

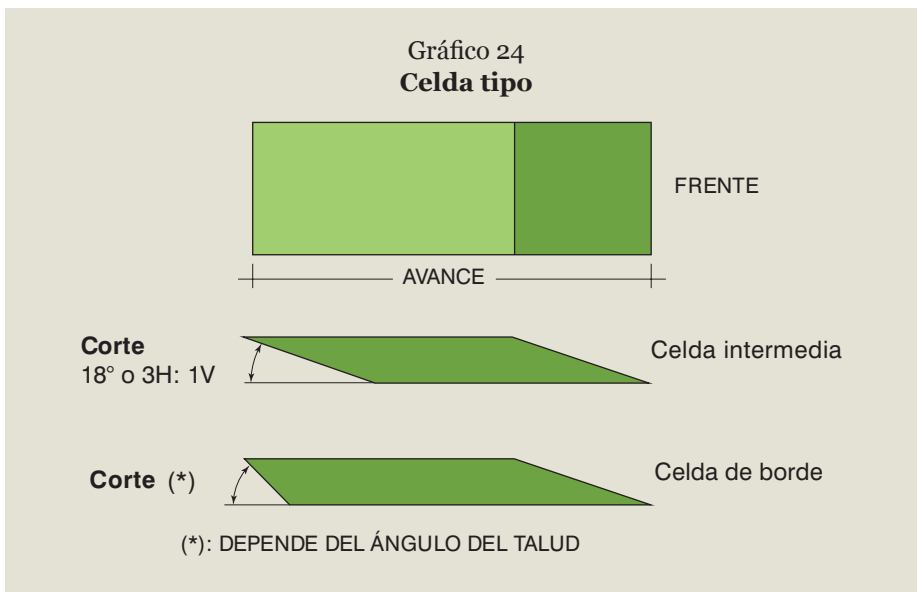
Como se describió anteriormente, para el diseño del relleno sanitario hay que definir el tipo de relleno a implementarse. En base a esta decisión, se deberá definir la unidad básica del relleno sanitario que es la celda diaria, la misma que representa el volumen diario promedio a disponerse.

A manera de ejemplo de cálculo, para el caso de la Tabla 10, se tiene para el año 2015 un volumen diario a depositar de $6,75 \text{ m}^3$ con una compactación del 500 kg/m^3 . Una compactación del orden indicado es típica de un relleno de tipo manual, por lo cual la celda diaria no podría ser muy alta, dado que dificultaría su conformación, por lo que se asume una altura de celda de 1 metro, incluyendo el material de cobertura.

Otra característica que hay que tomar en cuenta es que las celdas tendrán diferentes formas, de acuerdo a su ubicación dentro del relleno. Existen celdas localizadas directamente junto al talud, otras intermedias y otras al borde libre del relleno. Otro factor a tomarse en cuenta es el frente que debe tener la celda, que depende del número de vehículos de recolección que llegan a la vez a descargar al relleno. Para el caso del ejemplo analizado, se requiere solamente el espacio para un vehículo recolector a la vez, por lo que se adopta

un frente de 2,50 m de ancho. Finalmente, un criterio básico para el diseño, es que las celdas deben tener una pendiente del orden de 3 horizontal por 1 vertical (aproximadamente 18°). Esta pendiente garantiza la estabilidad del relleno evitando riesgos de deslizamientos, especialmente en rellenos de altura. Así mismo, se recomienda que entre plataforma y plataforma se debe tener una berma perimetral de 3 o más metros para minimizar los riesgos de deslizamiento y acceso para labores de mantenimiento o circulación.

Una vez que se han adoptado valores de la altura y el ancho de la celda, hay que calcular el valor del avance diario de la celda.



$$Av = \frac{V}{f \times h}$$

Donde:

- Av = Avance diario de la celda
- V = Volumen diario compactado a disponerse 6,75 m³
- f = Frente de trabajo, asumido 2,50 metros
- h = Altura de la celda, asumido 1,0 metro

Por lo indicado, el avance diario de la celda sería de 2,70 metros. Con estas dimensiones se debería calcular el número de celdas a ubicarse en cada nivel de cada plataforma. Este cálculo se deberá realizar para los otros años del relleno.

7.2 Diseño del manejo de lixiviados

Para el diseño del sistema de drenaje, almacenamiento y tratamiento, es básico conocer el volumen de lixiviados a manejarse. Este caudal depende de una serie de parámetros como los aspectos climáticos, tipo del material de cobertura, altura de las celdas y plataformas, humedad y características de los residuos sólidos confinados. Para estas determinaciones se utilizan algunos métodos que se describen a continuación.

a) El método Suizo¹⁵

En este método se considera que un cierto porcentaje de la precipitación que atraviesa los residuos llega al fondo impermeabilizado del vaso y debe ser recogido y tratado. Esta cantidad depende de la cantidad de precipitación y del grado de compactación de los residuos.

El método Suizo permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times K$$

Donde:

- Q = Caudal medio de lixiviado (l/segundo)
- P = Precipitación media anual (milímetros/año)
- A = Área superficial del relleno (m²)
- t = Número de segundos en un año (31.536.000)
- K = Coeficiente que representa la proporción de precipitación que se convierte en lixiviado y depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:
 - Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 toneladas/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25% y 50% ($k = 0,25$ a $0,50$) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno
 - Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 toneladas/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15% y 25% ($k = 0,15$ a $0,25$) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno

15 Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública. II Curso para encargados de los servicios de aseo urbano del país.. Op. cit.

b) Tabla de generación en base a la precipitación y forma de operación¹⁶

Este método tiene en cuenta que la generación de lixiviados de un relleno depende de distintos parámetros:

- Precipitación
- Área del relleno
- Modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria)
- Tipo de basura

Tabla 11
Generación de lixiviados en base a la precipitación y compactación

TIPO DE RELLENO	PORCENTAJE (%) DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS	PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS (M ³ /HA.DÍA)		
		PRECIPITACIÓN 700 MM /AÑO	PRECIPITACIÓN 1.500 MM /AÑO	PRECIPITACIÓN 3.000 MM /AÑO
Relleno manual	60	11,51	24,66	49,32
Relleno compactado con maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Relleno compactado con maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: Röben, Eva. 2002. *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*. DED/ Ilustre Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador.

c) Balance hídrico

Este método plantea la siguiente ecuación:¹⁷

$$L = I + As + Ap + R$$

Donde:

- I = Infiltración
- As = Flujo de aguas subterráneas
- Ap = Autoproducción de agua
- Ret = Capacidad de retención de agua

La infiltración de agua hacia el relleno responde a la expresión:

$$I = P - E - Et$$

Donde:

- P = Precipitación
- E = Escorrentía
- Et = Evapotranspiración real

16 Röben, Eva. 2002. *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*. DED/ Ilustre Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador.

17 U.S. Environmental Protection Agency. 1977. "Procedures manual for ground water monitoring at solid waste disposal facilities".

Usualmente, se simplifica los valores indicados despreciando el valor de autoproducción de agua, la retención y, justificadamente, el flujo de aguas subterráneas (siempre y cuando los estudios hidrogeológicos descarten su existencia). Así mismo, el valor de escorrentía puede ser estimado como un porcentaje de la precipitación, la que a su vez se obtiene de los reportes meteorológicos de la zona.

La evapotranspiración se obtiene de medidas directas por medio de dispositivos denominados evaporímetros, pero por la carencia de éstos en las estaciones meteorológicas se ha recurrido a la obtención de este parámetro por métodos empíricos, como:

- Método de Penman
- Método de Blaney & Criddle modificado
- Método de Thornthwaite
- Método de Truc
- Método de Hargreaves

El balance hídrico permite definir las épocas o estaciones del año en las que se produce déficit y exceso de agua en el suelo, permitiendo planificar el almacenamiento y posterior tratamiento de estos líquidos.

d) Programa Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP)¹⁸

Este modelo matemático, desarrollado por la Armada de los Estados Unidos para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), estima los valores de los diversos componentes del balance hídrico de un relleno. El modelo HELP requiere los siguientes datos de entrada:

- **Climatológicos.** Registros de precipitación diaria, temperatura media mensual, radiación solar media mensual, índice de área de hoja, profundidad de la zona de evaporación del suelo, día de inicio y fin de la estación de crecimiento
- **Características del suelo.** Porosidad, capacidad de campo, punto de marchitamiento y conductividad hidráulica
- **Especificaciones del proyecto.** Número y espesor de las capas, características del suelo, compactación, contenido inicial de humedad del suelo, tipo de cobertura vegetal

Varios autores han desarrollado otros modelos con criterios semejantes a los descritos, tales como el modelo Corenostós.¹⁹

Con el valor de la cantidad de lixiviados por día o por mes, se deberá determinar los volúmenes de almacenamiento, sobre todo para aquellos meses donde se tendría mayor producción de lixiviados. Para este fin, se construyen piscinas de almacenamiento, que deben ser debidamente impermeabilizadas conforme a los estudios geológicos y geotécnicos realizados.

18 Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio Público de Limpieza. Op cit.

19 Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios. Op. Cit.

7.3 Generación y manejo de biogás

Existen algunos métodos para estimar la generación de biogás. Estos son especialmente aplicados para grandes rellenos sanitarios, donde se quiere aplicar a proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que permitan obtener recursos adicionales por destrucción del metano conforme al Protocolo de Kioto.²⁰

Uno de los métodos más utilizados es el de la EPA que aplica la siguiente ecuación:²¹

$$Q = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

Donde:

- Q = Tasa de generación de metano con el tiempo $m^3/año$
- L_0 = Capacidad potencial de los residuos para generar metano m^3/mg
- R = Tasa de aceptación promedio de residuos durante la vida activa del relleno ($mg/año$)
- k = Tasa de generación de metano; se supone constante ($l/año$)
- c = Tiempo desde la clausura del relleno, año
- t = Tiempo desde el inicio de colocación de los residuos en el relleno, año

En el cuerpo del relleno se requiere implementar chimeneas que permitan evacuar los gases desde el interior del relleno. Estas chimeneas pueden ser elaboradas con una serie de materiales y tienen que crecer en altura conforme crece el relleno. Materiales usados para este fin pueden ser maderas como cerco cuadrangular, unidos por malla metálica y piedras en su interior. En muchos casos también se puede poner tubería perforada dentro de estas chimeneas de material granular.

Se ha observado en otros casos la utilización de llantas y tanques metálicos perforados. El principio sigue siendo facilitar la salida de los gases, los mismos que migran de zonas confinadas a presión hacia zonas de menor presión y en contacto con la atmósfera. Una vez que el relleno alcance su cota de cierre, se debe proceder a la quema del biogás, con el fin de reducir la presencia de gases de efecto invernadero.

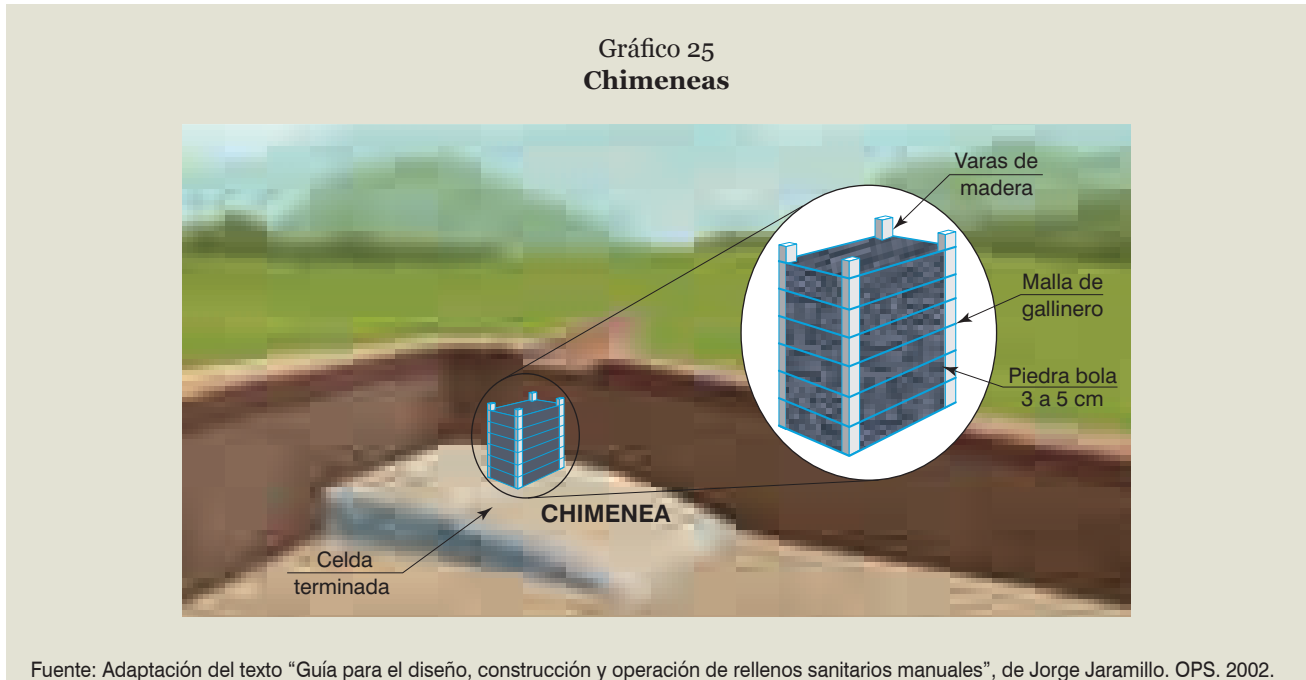
20 El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del período que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. Para más información visitar

http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_clim%C3%A1tico

21 <http://www.epa.gov/lmop/publications-tools/>

La bibliografía especializada recomienda implementar las chimeneas en los vértices de una cuadrícula de 25 a 30 metros por lado e implantar las chimeneas sobre los drenes de lixiviados.

Un ejemplo de la forma de las chimeneas se muestra en el Gráfico 25.



7.4 Tratamiento de lixiviados

Como se describió anteriormente, los lixiviados que se generan en los rellenos sanitarios por la infiltración de aguas lluvias producen un lavado de los compuestos y elementos que se generan de las distintas etapas de la fase de degradación que se dan al interior del relleno. Lo descrito, se puede evidenciar en la Tabla 12, determinado en distintos rellenos sanitarios de Latinoamérica.

Como se puede observar, las concentraciones de los parámetros indicados los hacen objetables para ser descargados directamente al ambiente (las concentraciones de descarga dependerán de las legislaciones de cada país o región). Por tanto, es indispensable diseñar un tratamiento para que los parámetros indeseables caigan dentro de los valores para descarga al ambiente.

En general, se puede mencionar los siguientes tipos de tratamientos:

- Procesos biológicos (biodegradación de compuestos orgánicos, eliminación de fósforo y nitrógeno, etc.)
- Procesos químicos (oxidación con ozono, peróxido de hidrógeno, etc.)
- Procesos físico-químicos (floculación y decantación, filtración de membranas, intercambiador de iones)
- Procesos térmicos (evaporación, secado, incineración)
- Procesos combinados

Tabla 12
Análisis de lixiviados

Análisis físicos, químicos y biológicos de lixiviados en rellenos sanitarios					
PARÁMETRO (UNIDAD)	RANGO TÍPICO (RANGO DE VALORES)	R. SANITARIO LO ERRAZURIZ (CHILE)	R. SANITARIO DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)	R. SANITARIO EL ZAPALLAL (PERÚ)	NORMAS DEL SERVICIO DE SALUD PÚBLICA DE LOS ESTADOS UNIDOS
DBO ₅ (mg/l)	1,5 a 60.000	150 a 49.000	16.036 a 68.500	1.200 a 43.500	
DQO (mg/l)		3.287 a 75.000	13.400 a 78.260	19.866 a 63.322	
COT (mg/l)	800 a 90.000	1.210 a 27.600	4.320 a 41.100	-	
pH (pH)	3,50 a 8,50	5,8 a 7,5	-	7,2 a 8,8	
Temperatura (°C)	-	16 a 43	5,2 a 8,05	-	
N. total (mg/l)	1,50 a 150	530 a 2.290	-	-	
Coli fecal (mg/l)	100 a 1006	-	-	2,38104	
Cloruros (mg/l)	5 a 4.500	-	-	10.097 a 19.184	250
Fenol (mg/l)	0,17 a 6,60	-	3,4 a 28	-	
S. totales (mg/l)	6 a 4.000	12.410 a 77.590	13.120 a 61.110	29.858 a 65.002	
S. sedimentales (ml/100ml*h)	-	< 0,1 a 9	-	No determinable a causa del color	
Cadmio (mg/l)	ND – 1,16	ND – 0,2	0,11 a 0,82	0,06	0,01
Plomo (mg/l)		0,2 a 8,2	0,11 a 40,84	0,11	0,05
Cromo (mg/l)	ND – 1,16	0,2 a 1,8	0,14 a 2,2	0,34	0,05
Cobre (mg/l)	-	19 a 83,4	0,96 a 13,54	< 0,1	
Fierro (mg/l)	-	17,6 a 713,6	28,04 a 127,3	-	0,3
Manganeso (mg/l)	-	0,8 a 35,8	15,4 a 96,3	-	0,05
Níquel (mg/l)	ND – 1,70	-	-	-	
Zinc (mg/l)	-	3,2 a 20,2	0,96 a 13,54	0,01	5
Toxicidad (EQ/m ³)	-	6,5 a 68,8	-	-	
Turbiedad (UNT)	-	360 a 11.000	-	-	

ND: No detectado

- : Parámetro no medido

Fuente: Paraguassú de Sá, Fernando; Carmen Rojas Rodríguez. 2002. *Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública*. OPS. Lima.

Los procesos biológicos tienen las siguientes aplicaciones: eliminación de la materia orgánica (medida como DBO₅), nitrificación, desnitrificación, eliminación de fósforo y estabilización de lodos. Los procesos más utilizados de este tipo son:

- Lagunas (anaerobias, aerobias y facultativas)
- Sistemas de lodos activados convencional
- Sistemas de lodos activados de alta carga
- Lodo activado aireación extendida
- Lodo activado modalidad SBR
- Biodiscos
- Sistemas de cultivos fijos como los filtros percoladores
- Sistemas de cultivos fijos en suspensión
- Reactores anaerobios
- Sistemas UASB
- Otros anaerobios
- Trickling filters

Generalmente, se utilizan métodos combinados para eliminar los diferentes contaminantes encontrados en los lixiviados.

8. Operación del relleno sanitario

La operación del relleno sanitario se describe en base al esquema del Gráfico 26, que agrupa la operación en base a los siguientes componentes:

- Ingreso
- Tráfico interno
- Frente de trabajo (celda de operación)
 - Manejo de celda en operación que incluye:
 - Compactación
 - Cobertura
 - Control de gases
 - Manejo de lixiviados
 - Control de vectores
 - Manejo de desechos hospitalarios
- En el área del relleno
 - Cerco vivo
 - Cerramiento
 - Otras unidades
- Otros aspectos a considerarse
 - Acciones iniciales
 - Medidas de seguridad
 - Medidas de mantenimiento
 - Medidas de señalización
 - Medidas de capacitación

Gráfico 26

Diagrama de operación de un relleno sanitario



8.1 Ingreso al relleno sanitario

El ingreso al relleno sanitario es restringido, quedando terminantemente prohibida la entrada de personas para realizar tareas de reciclado de basura dentro del relleno sanitario. Por lo indicado, debe existir un control del ingreso de vehículos y de personas que ingresan a las instalaciones del relleno.

El personal de guardianía deberá llevar un registro escrito en el que conste lo siguiente:

- Fecha
- Hora de ingreso al relleno sanitario
- Hora de salida
- Placas del vehículo que ingresa y compañía a la que pertenece
- Nombre de la persona que entra
- Actividades que va a realizar
- Verificación del tipo de desechos sólidos que se va a depositar

8.2 Ingreso al frente de trabajo

Los ayudantes del relleno indicarán el trayecto que deberán seguir los vehículos que ingresan al relleno sanitario, de acuerdo a la celda que se encuentre en operación y al tipo de desecho que traen. Les indicarán las medidas de precaución y seguridad dado el riesgo de enterramiento de los vehículos al momento de transitar sobre plataformas con residuos.

8.3 Celda de operación

Conforme a los diseños técnicos de las dimensiones de la celda diaria, se establecerá el orden de llenado de las celdas y plataformas del relleno. La forma como se desarrolle la construcción de las celdas para alojar los residuos es muy importante, porque de esto depende el grado de consolidación y estabilidad que alcanzará el relleno.

La compactación de los desechos es de fundamental importancia para el buen funcionamiento del relleno, así como para asegurar que el relleno sanitario cumplirá con la vida útil especificada.

Para obtener resultados óptimos, se debe controlar que el operador de la maquinaria cumpla con los siguientes pasos:

- El operador debe homogeneizar y distribuir los desechos en el frente de trabajo y colocarlos en capas de no más de 25 centímetros de espesor. Para esto, el operador hará un control visual de la altura de la capa o podrá ayudarse con una estaca graduada como referencia
- El frente de trabajo deberá tener una contrapendiente de 3 horizontal por 1 vertical, trabajando con los residuos de abajo hacia arriba, rompiendo, acomodando y compactando las basuras

- El operador repetirá esta operación (como mínimo cinco veces) hasta que las basuras o desechos hayan sido acomodados y la superficie no se deforme después del paso del equipo
- Al final de cada jornada, después de compactar todos los desechos que hayan llegado al relleno, se coloca la capa de cobertura. La cobertura tendrá un espesor no menor a 10 centímetros en todos sus puntos.
- Todo el ciclo descrito debe repetirse
- La altura de la celda, incluida la capa de cobertura, debe ser la calculada en los diseños

A continuación se explica en detalle el procedimiento mencionado.

- a) El encargado de la operación del relleno indicará la ubicación de la celda en operación a los vehículos y les dará acceso para descargar los residuos.

Gráfico 27
Descarga de basura en celda diaria



Fuente: Adaptación del texto "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", de Jorge Jaramillo. OPS. 2002.

- b) Estacas testigo deben ubicarse en las esquinas de la celda con pintura marcando la altura máxima de la celda. El equipo esparce los residuos y comienza a conformar la celda diaria de operación. Los residuos son esparcidos en capas de aproximadamente 30 centímetros en toda el área de la celda para proceder a compactar los mismos.

Gráfico 28
Conformación de la celda



Fuente: Adaptación del texto "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", de Jorge Jaramillo. OPS. 2002.

- c) Se realiza varias pasadas con el equipo sobre la superficie de los residuos, compactándolos. Se deberá respetar la altura de la celda en base a lo indicado en las estacas testigo y las pendientes de los bordes de las celdas.

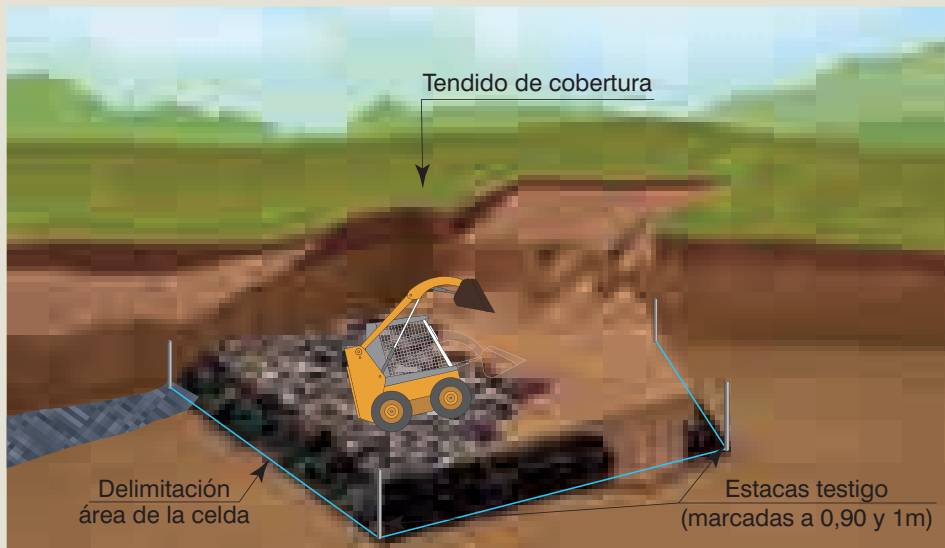
Gráfico 29
Compactación de residuos en la celda



Fuente: Adaptación del texto "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", de Jorge Jaramillo. OPS. 2002.

d) Para el proceso de cobertura de la celda, el equipo transporta y realiza el vertido homogéneo de la cobertura sobre la celda compactada. Se estima una altura de cobertura de 0,10 metros. Para esto, el operador verá las marcas de las estacas testigo.

Gráfico 30
Cobertura de la celda



Fuente: Adaptación del texto "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", de Jorge Jaramillo. OPS. 2002.

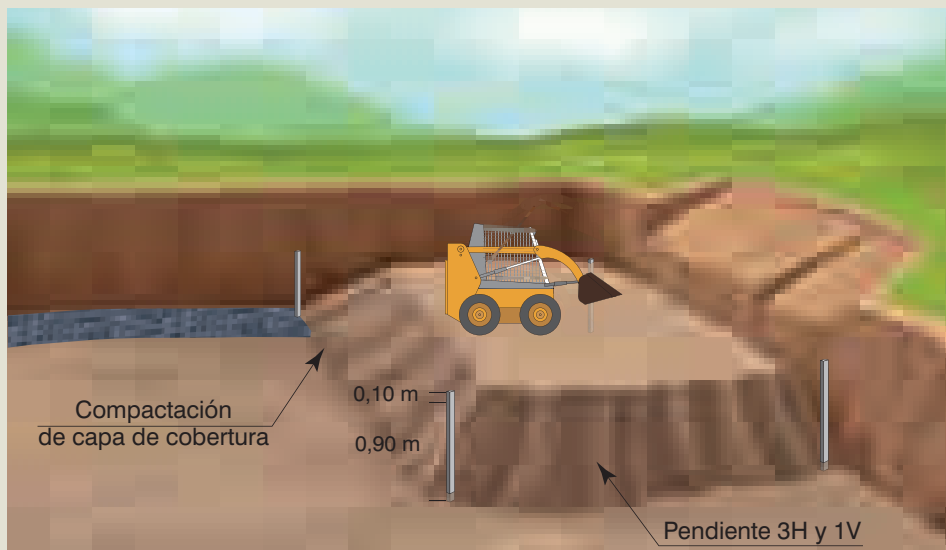
- e) Para compactar la celda con la cobertura de tierra, se debe tener especial atención en las celdas por donde transitarán los vehículos hacia la celda de operación, especialmente en épocas invernales. En esos casos se deberá incrementar la altura de la cobertura o utilizar palizadas para evitar hundimientos.
- f) El material de cobertura será el extraído durante los movimientos de tierra. Se acumulará en una zona inmediata a la parte superior de la celda en construcción, o junto a esta, desde donde será transportada cerca de la superficie a taparse. El equipo realizará varias pasadas (al menos 5 pasadas) hasta tener una adecuada compactación en la capa de cobertura de 10 centímetros.

Al término de la jornada diaria, la celda deberá quedar cubierta según lo especificado. Se recalca que este paso es básico para mantener la operación del sitio como un relleno sanitario, pues de lo contrario se corre el riesgo de que se convierta en un vertedero controlado. La cobertura con material férreo en la celda evita la salida de olores, la presencia y reproducción de insectos, el afloramiento de líquidos lixiviados, la presencia de roedores y confina los desechos en su interior.

Para prevenir que las condiciones de confinamiento se pierdan en las superficies laterales que quedan expuestas al exterior, debido a la erosión causada por las lluvias, es necesario tomar las siguientes medidas:

- Evitar que la superficie lateral quede por mucho tiempo expuesta al exterior. Cuando esto no sea posible, repararla ante cualquier deterioro
- Evitar al máximo que las aguas lluvias escurran por la superficie lateral, dando a la superficie superior una pendiente del 1%

Gráfico 31
Compactación



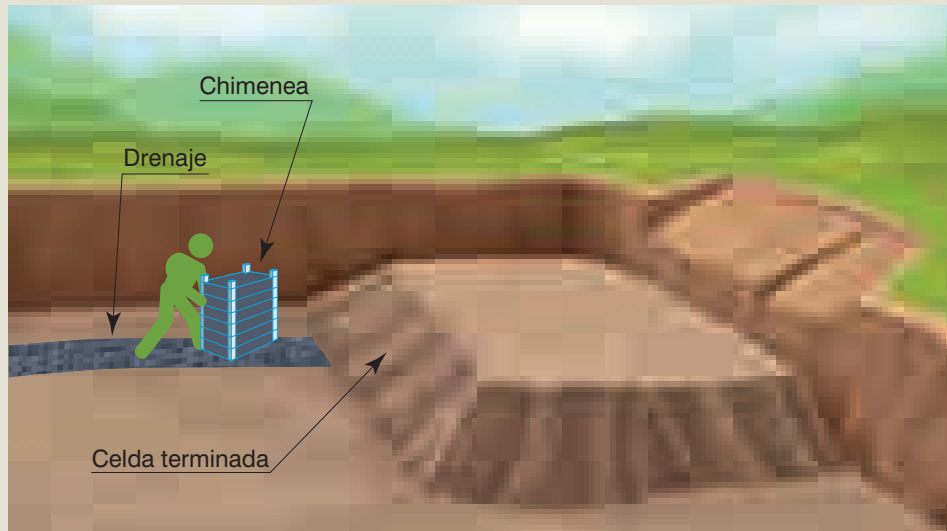
Fuente: Adaptación del texto "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", de Jorge Jaramillo. OPS. 2002.

Finalmente, cuando se vaya a poner una celda sobre una plataforma ya existente, se recomienda realizar el raspado del material de cobertura para que la basura de la celda nueva esté en contacto con la basura existente en la plataforma inferior. Esto se hace para facilitar el drenaje de lixiviados hacia el fondo y evitar afloramientos laterales de lixiviados.

- g) Las chimeneas deben construirse sobre los drenajes secundarios y deben ampliarse conforme crezca el relleno en altura.

Para la captación y posterior quema o eliminación de los gases generados por la degradación de la materia orgánica contenida en las celdas se construirán chimeneas. Esta medida evita la formación de bolsas de gas metano o mezclas explosivas de este al interior del relleno. Las chimeneas avanzarán verticalmente conforme avanza la altura de la celda, de la plataforma y del relleno.

Gráfico 32
Construcción de chimeneas



Fuente: Adaptación del texto "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", de Jorge Jaramillo. OPS. 2002.

8.4 Control de vectores

Por las actividades propias del manejo de gran cantidad de basura, en el relleno sanitario se presentan vectores como insectos, roedores y aves de carroña.

A pesar de que con una buena cobertura de la celda diaria se minimiza la presencia de estos vectores, se debe tomar en cuenta algunas medidas para evitar su presencia y propagación.

a) Control de moscas. El control de moscas en el relleno sanitario se realizará por medio de la fumigación. Las labores de fumigación se realizarán conforme a las recomendaciones del fabricante de los productos utilizados.

b) Control de vectores. El control de vectores en el relleno sanitario se efectuará compactando y recubriendo diariamente los desechos dispuestos; y utilizando venenos y cebos, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes.

8.5 Cerca viva y cerramiento del relleno sanitario

El relleno debe contar con una cerca viva para el aislamiento visual del relleno sanitario y, en parte, para mitigar la salida de olores hacia terrenos aledaños al relleno. Así mismo, el cerco perimetral puede ser de alambre de púas en todo el perímetro del terreno. A estos componentes del relleno hay que darles un mantenimiento rutinario, de acuerdo a las condiciones de cada caso.

8.6 Medidas de control

Las medidas de control a establecerse en el relleno son las siguientes:

- Manejar estadísticas de ingreso de desechos sólidos al relleno. Se deberá establecer con precisión el tonelaje diario aproximado por tipo de desechos
- Determinar cotas diarias del avance del relleno
- Determinar gráficamente el estado de avance del relleno y planificar nuevas obras para su correcto funcionamiento
- Garantizar la existencia de un stock de material de cobertura
- Mantener un stock de material para la construcción de chimeneas
- Realizar un calendario de mantenimiento rutinario de la infraestructura
- Verificar las unidades de tratamiento de lixiviados
- Controlar la señalización y estado de las vías, sobre todo en invierno
- Llevar registros del mantenimiento de los equipos
- Mantener un stock de equipos de protección, sistemas contra incendios, etc.
- Monitorear el tratamiento para verificar el cumplimiento de las normas ambientales

En general, los parámetros a monitorearse podrían ser alcalinidad, cianuros, calcio, cloruros, cobre, componentes orgánicos (fenoles), conductancia específica, cromo total, DBO₅, DQO, dureza, fósforo total, hierro, magnesio, nitrógeno total, pH, potasio, sodio, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sulfatos, temperatura y zinc.

8.7 Mantenimiento

El mantenimiento deberá ser rutinario y se establecerá en función de la utilización de las diferentes unidades y equipos. El Jefe del relleno sanitario deberá establecer la periodicidad de este mantenimiento. Hay dos tipos de mantenimiento:

- **Obras civiles**, que se refieren al estado estructural, cubiertas y acabados, así como a los procesos de limpieza y aseo de las unidades
- **Equipos**, que se refieren a los mantenimientos preventivos en función del número de horas trabajadas y contingencias menores, así como a la contratación de reparaciones correctivas

8.8 Capacitación

La capacitación es un elemento importante para una correcta operación del relleno sanitario. La capacitación deberá dirigirse a los siguientes niveles:

- **Personal técnico**, que recibirá capacitación en el manejo de rellenos sanitarios, conformación de las celdas y frentes diarios de operación, monitoreo ambiental, etc.
- **Trabajadores**, que recibirán capacitación en la conformación de celdas y plataformas, buen uso de equipos, medidas de seguridad, etc.





CAPÍTULO 8

Minimización de residuos sólidos

Como se describió en el Capítulo 1 sobre Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), la prioridad de acciones en la gestión es evitar y minimizar la producción de basura.

Esta estrategia jerarquizada de gestión establece la siguiente prioridad: evitar–minimizar–tratar–disponer. Por tanto, la mejor alternativa es prevenir, evitando la generación de un residuo; seguido de procurar la minimización; y, en tercer lugar, su tratamiento con el objetivo de reducir. De esta manera, la disposición final del residuo queda como última opción.

Estas acciones de evitar y minimizar previenen costos y esfuerzos en los diferentes componentes que involucra la GIRS al tener menor cantidad de basura que manejar, y también ayudan a la conservación y uso racional de los recursos naturales. En la actualidad, la generación de residuos y contaminantes en los procesos productivos e industriales, generan graves efectos como calentamiento global, cambio climático, destrucción de la capa de ozono, pérdida de biodiversidad y deterioro de la calidad de vida. Todos estos últimos provocados en parte por un irracional uso de ciertos productos que pueden y deben ser reutilizados y, principalmente, por un modelo consumista, ávido de nuevos productos y servicios.

Esto ha generado alarma mundial y ha desembocado en el planteamiento de una serie de medidas y buenas prácticas dirigidas a disminuir o atenuar los efectos mencionados. Para el caso de la GIRS se plantea la implementación de programas para la minimización y el manejo integral de residuos sólidos municipales, industriales no peligrosos y peligrosos.

Para todos los casos indicados, las propuestas planteadas son de difícil implementación por la complejidad que representan dado que requieren de la participación de toda la sociedad para su efectivo funcionamiento.

Al igual que para los otros componentes de la GIRS, no existe una receta universal de aplicación. Sin embargo, es necesario que sea un proceso colectivo basado en la decisión política de las autoridades, con estrategias de implementación y creación de políticas y normas específicas; y, sobre todo, que cuente con la participación de la población.

1. Principios y estrategias

En el año 1992, en la Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro²² se concibió la denominada Agenda 21 con compromisos de elaboración de planes de acción global y local a largo plazo. Dichos planes debían ser consultados y consensuados con la población y los distintos agentes sociales que integran la gestión de factores económicos, sociales y ambientales. Estos planes deben ser la base para la creación de políticas sostenibles, sobre las cuales todos los participantes deben estar de acuerdo.

A partir de ahí, las entidades locales se convirtieron en agentes fundamentales para la creación de modelos de gestión municipal más comprometidos con un desarrollo sostenible que derive en acciones concretas a escala municipal. Dichas acciones responderían a los intereses económicos, sociales y ambientales de toda la comunidad y mejoraría la calidad de vida de los ciudadanos.



© WWF / Jean Claude Constant

²² Para más información sobre la Cumbre de la Tierra, visitar: http://es.wikipedia.org/wiki/Cumbre_de_la_Tierra

A continuación se resumen algunos de los principios de la Agenda 21 de la Organización de las Naciones Unidas relacionados al manejo ambientalmente adecuado de los residuos:

- **Principio de reducción en la fuente.** Enuncia la necesidad de minimizar la generación de los residuos en cantidad y en sus características de causar contaminación al ambiente. Una de las formas de hacerlo es utilizando diseños adecuados de procesos y productos.
- **Principio de inventario de ciclo de vida.** Recalca la necesidad de realizar un inventario a fin de que las sustancias y productos se diseñen y manejen reduciendo al mínimo sus impactos adversos al ambiente en cada una de las fases de su ciclo de vida, como generación, uso, recuperación y disposición final.
- **Principio de precaución.** Propicia la necesidad de adoptar medidas preventivas, aun cuando no exista evidencia científica completa, respecto a que determinada actividad sea sospechosa de liberar al ambiente sustancias, residuos o energía que puedan causar daños a la salud o al ambiente.
- **Principio de control integral de la contaminación.** Requiere que el manejo integral de los residuos se realice con un enfoque multimedios, para evitar la transferencia de contaminantes de un medio a otro.
- **Principio de estandarización.** Establece la necesidad de contar con estándares o normas que permitan el manejo ambientalmente adecuado de los residuos en todas las fases de su ciclo de vida.
- **Principio de proximidad.** Busca que el acopio, tratamiento y disposición final de los residuos tengan lugar tan cerca de la fuente generadora como sea posible y que sea técnica y económicamente factible.
- **Principio del que contamina paga.** Hace responsable de remediar las consecuencias de la contaminación a quien la produzca.
- **Principio de participación pública.** Demanda asegurarse que al diseñar e instrumentar los sistemas de manejo integral de residuos se informe e involucre al público.

Estos principios han aportado a diferentes políticas, normas y cuerpos legales ambientales nacionales y locales en varias regiones del mundo.

En el texto *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*, elaborado por la SEMARNAT (México, 1999), para diseñar políticas de manejo ambientalmente adecuado, se menciona los siguientes aspectos básicos:

- Ser fácilmente entendibles por todos los actores involucrados.
- Reflejar en forma balanceada los intereses de los distintos sectores sociales
- Ser puestas en práctica en todo el territorio nacional
- Ser accesibles a todos
- Tener un enfoque integral
- Involucrar la participación solidaria de todos los sectores sociales

- Fomentar alianzas y sinergias
- Incentivar la prevención de la generación, la minimización y el manejo integral adecuado de los residuos

Además, se recomienda que:

- Se formule leyes y reglamentos, pautas de conducta y normas técnicas para inducir la minimización y un adecuado manejo de los residuos
- El gobierno en todos sus niveles sea el destinatario privilegiado de las acciones de capacitación ambiental
- La legislación ambiental sea desarrollada por legisladores capaces, enterados y educados en los temas de contaminación y ambiente
- La fiscalización se sustente en la capacidad y honestidad de los funcionarios (ética)

Las recomendaciones mencionadas persiguen un cambio profundo, en pro de que la política ambiental esté orientada a promover el aprovechamiento sostenible de los recursos; el ahorro de energía, agua y materiales en los procesos de transformación de materias primas en productos; y, el aprovechamiento de materiales usados con valor económico y calorífico.

Una de las formas como se ha logrado aplicar estos principios es mediante lineamientos y acciones que impulsen las 3R (reducción, reuso y reciclado), sugiriéndose las siguientes estrategias:

- Propiciar la reducción en la fuente a través de campañas de concienciación a la ciudadanía, pudiendo establecerse impuestos verdes para incentivar esta práctica. Por ejemplo, las compañías de refrescos pagan un valor a los usuarios que retornan los envases de sus productos
- Establecer metas de minimización y reciclado en el mediano y largo plazos de acuerdo a la realidad de cada localidad
- Realizar estudios para determinar el mercado de materiales reciclados para establecer cuáles son los de mayor demanda y para conocer la forma de presentación hacia el comprador y los costos referenciales. En base a esto se establecerán las mejores prácticas operativas para la separación, obtención y almacenamiento
- Realizar una investigación de las cadenas de comercialización de materiales reciclados para favorecer a los recicladores informales. Además, se deberá realizar acciones para valorar y apoyar las actividades de recuperación de los recicladores informales o formales
- Para el caso de los residuos de tipo industrial se debe desarrollar un proceso de concertación, respecto a la responsabilidad extendida del productor²³

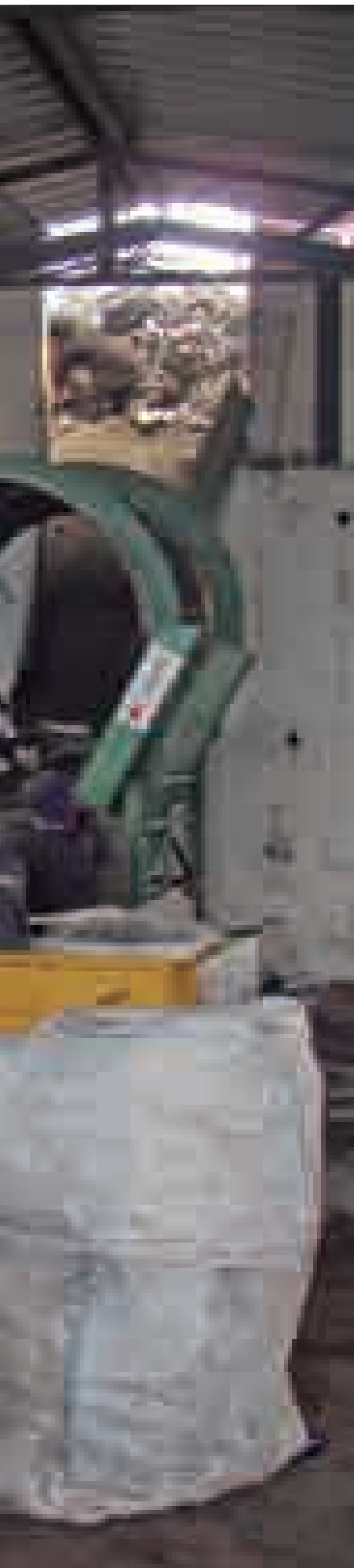
23 La responsabilidad entendida del productor (REP) se define como “la ampliación de las responsabilidades de los productores, a la etapa de post consumo en el ciclo de vida de sus productos”. Este concepto se basa en la premisa de que la responsabilidad de implicaciones legales de las empresas en relación con el impacto al ambiente no acaba con la venta de sus productos. Significa que el productor no solo se encarga del nacimiento del producto sino que también de la muerte del mismo, lo que se expresa en otras palabras “de la cuna a la tumba”. Fuente: www.sinai.cl

Para lograr el funcionamiento adecuado de un sistema de manejo integral de residuos sólidos, que incluya minimización de residuos, se requiere un compromiso de toda la sociedad, donde cada quien asuma sus responsabilidades dentro del flujo de los residuos. De esta forma, los productores de materias primas, fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores y autoridades deben responsabilizarse por los residuos que generan, como parte de una estrategia de responsabilidad compartida.



© WWF / Jean Claude Constant





© WWF / Marcelo Castillo

CAPÍTULO 9

Aprovechamiento de residuos sólidos

Como se mencionó en el Capítulo 8, una forma de aterrizar los principios y políticas para un manejo ambiental más apropiado de los residuos sólidos es la implementación de sistemas 3R (reducir, reusar y reciclar). Estos obligan a implementar variantes a los típicos sistemas de recolección, tales como la implementación de la recolección diferenciada, la instalación de plantas separadoras de residuos y el aprovechamiento de estos materiales recuperados, ya sea de manera directa o como materia prima de otros procesos.

Estas formas de valoración de los residuos permiten el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, debiendo realizarse en condiciones que no causen perjuicios a la salud humana y al ambiente.

1. Reutilización de residuos sólidos

La reutilización de los residuos sólidos contempla volver a utilizar el producto recuperado de los residuos sólidos de manera directa, sin someterlo a ningún proceso de transformación.

Como ejemplo típico de esta práctica está la reutilización de envases para los mismos productos contenidos inicialmente o para otros similares. En muchos casos, algunos materiales que pueden ser reutilizados son desechados luego del primer uso (por ejemplo, las bolsas plásticas).

Una definición de reutilización,²⁴ de acuerdo con la directiva 94/42/CE de la Unión Europea, menciona que:

la reutilización es toda operación en la que el envase concebido y diseñado para realizar un número mínimo de circuitos o rotaciones a lo largo de su ciclo de vida, sea relleno o reutilizado con el mismo fin para el que fue diseñado, con o sin ayuda de productos auxiliares presentes en el mercado que permitan el relleno del envase mismo, estos tipos de envases se considerarán residuos de envases, cuando no se reutilicen.

24 Pardavé Livia, Walter. 2007. *Estrategias Ambientales de las 3R a las 10R*. ECOE Ediciones.

2. Reciclaje

Reciclaje “es la actividad de recuperar los desechos sólidos para reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos, con lo que se puede lograr varios beneficios económicos, ecológicos y sociales”.²⁵

Otra definición de reciclaje menciona que es un proceso de separación de los residuos sólidos que pueden ser rentabilizados en el proceso de producción–consumo y, por lo tanto, con un valor de venta.²⁶ Aunque en la práctica es muy aconsejable, tiene el inconveniente de resultar poco atractivo económicamente debido a la inestabilidad de los mercados.

Para la Unión Europea, de acuerdo a la directiva 94/62/CE, el reciclaje es la transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su fin inicial o para otros fines, incluido el reciclado orgánico, pero no la recuperación de energía.

El reciclaje está ligado a la reincorporación de fracciones de los residuos, que tendrían por destino la disposición final, e integrarlos nuevamente a los ciclos productivos. Esto es rentabilizarlos o darles un costo, con beneficios inicialmente de tipo económico, pero principalmente con ventajas de tipo ambiental y social. En los conceptos indicados, también se hace notar la inconveniencia de los valores de venta que, en muchos casos, hacen que determinados subproductos dejen temporalmente de ser atractivos de separar por las oscilaciones de los mercados internacionales.

En este sentido, hay un beneficio económico adicional a la venta del material recuperado y éste consiste en el aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios. Por ejemplo, si se realiza el tratamiento de orgánicos a través de compostaje, se reduciría los costos de tratamiento de lixiviados, que representan un rubro importante en la operación de estos rellenos. En muchos casos, por tanto, resulta que el reciclaje no es “rentable” y las municipalidades deben subsidiar parcialmente esta actividad.

A nivel mundial, las prácticas de reciclaje se han posicionado como una forma de manejo racional de los residuos sólidos y una fuente de obtención de materia prima para determinados procesos industriales. Por ejemplo, en algunos países de la Unión Europea se ha creado una legislación que penaliza la disposición final de residuos sólidos (considerando incluso que existen rellenos sanitarios altamente tecnificados). Esto obliga a los ciudadanos europeos a reciclar la mayor cantidad de subproductos, y solamente aquello que no se pueda reciclar es depositado en el relleno sanitario. En otras palabras, es más barato reciclar.

25 Röben, Eva. 2002. El Reciclaje. *Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico*. Municipio de Loja/DED.

26 Arnes, Humberto. 1994. Tomado de *Estrategias Ambientales de las 3R a las 10 R*. Walter Pardavé Livia. ECOE Ediciones. 2007.

En países en vía de desarrollo, el reciclaje está atrayendo mucho interés y se ha iniciado un proceso de mecanización para elevar la eficiencia de la separación, así como la obtención de mayor cantidad de materiales recuperados. Se observa una evolución si se contrasta con la mayoría de los casos en donde los estratos más pobres de la sociedad realizan las actividades de reciclaje de manera informal y en condiciones de insalubridad incluso a través del trabajo de separación en los propios botaderos de basura, con los riesgos que esta práctica representa. En muchos casos también son invisibilizados y explotados por grupos intermediarios y mayoristas que manejan el mercado. Por tanto, intervenir en el tema representa, a más de las ventajas ambientales indicadas, una medida para enfrentar y aportar a mejorar la calidad de vida de estas personas.

Por lo anotado, a continuación se describe el dimensionamiento de una planta de separación mecanizada de simple tecnología, de las que existen varias experiencias en funcionamiento.

3. Caracterización de la basura

Para el dimensionamiento de este componente es indispensable realizar el estudio de calidad y cantidad de los residuos sólidos, conforme lo expuesto en capítulos anteriores. Con los datos de la caracterización de la basura se obtiene los porcentajes de los diferentes componentes en los residuos, identificando la cantidad probable de reciclables a separarse.

Luego, se debe identificar cuáles son los materiales que tienen demanda en el mercado, la presentación requerida para la venta (por ejemplo, botellas PET sin tapa ni etiqueta) y las cantidades mínimas de venta y los precios de venta. En las regiones insulares, lo mejor será desalojar la mayor cantidad de materiales hacia las zonas continentales. Sin embargo, la logística del transporte marítimo de los reciclables representa un desafío político y económico en la mayoría de los casos, dado que los operadores de las embarcaciones generalmente no están dispuestos a transportar los materiales reciclables hacia el continente sin cobrar por el servicio.

En general, los materiales a separarse son:

- Diferentes tipos de papel (papel bond, kraft, periódico)
- Cartón, incluyendo envases preparados como Tetra Pak
- Diferentes tipos de plásticos (ver Tabla 13)
- Vidrio (ver Tabla 13)
- Diferentes tipos de metales (hierro, acero, aluminio, y metales no férricos como cobre, níquel, estaño, zinc, plomo)
- Textiles

Tabla 13
Tipos de plásticos

NOMBRE	CÓDIGO	SIGNIFICADO	ASPECTO	EN QUÉ PRODUCTOS SE ENCUENTRA ESTE PLÁSTICO
PET	1	Politereftalato de etileno	Plástico completamente transparente, sin color o verde	Botellas de aguas minerales, de gaseosas, de limonadas
PEHD (soplado)	2	Polietileno de alta densidad	Plástico opaco, blando que se puede comprimir con la mano	Botellas, baldes, tinas, bolsas de suero, recipientes de alimento
PVC	3	Policloruro de vinilo	Variable	Recipientes domésticos, botellas y recipientes de alimentos, mangueras, aislamiento de cables eléctricos
PELD (soplado)	4	Polietileno de baja densidad	Variable	Embalaje de folios finos, otros materiales de lámina
PP	5	Polipropileno	Plástico duro. No se puede comprimir con la mano, se rompe bajo presión	Botellas, baldes, tinas, recipientes grandes, baldes de alimentos, platos desechables
Espumaflex (PS)	6	Espuma de poliestireno	Espuma blanca coagulada, gruesa o fina	Materiales de embalaje que sirven para amortiguar golpes (embalajes de electrodomésticos, etc.), platos desechables
Otros	7	Plásticos mezclados	Variable	Variable
PEHD (Bolsa)	-	Polietileno de alta densidad	Bolsas de material más duro, suenan cuando se arrugan	Bolsas impresas de supermercado, bolsas rayadas (color de bandera, blanco y rojo, blanco y azul, etc.), bolsas de leche, de detergente, etc.
PELD (Bolsa)	-	Polietileno de baja densidad	Bolsa blanda que se estira rompiéndola, y que no suena cuando se arruga	Bolsas de alimentos usadas en los mercados (unicolores, blancas, color pastel)
Espanja	-		Variable	Colchones, esponjas domésticas, interior de peluches, almohadas, etc.

Fuente: Röben, Eva. 2002. *El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico*. Municipio de Loja/DED.

Los plásticos presentan la siguiente simbología para ayudar en su clasificación, sugerida por la Sociedad de Industrias del Plástico (SPI).²⁷

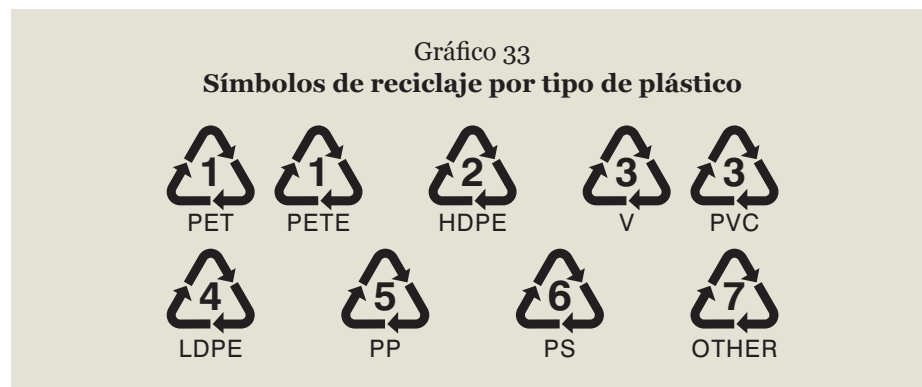


Tabla 14. Criterios de calidad para vidrio reciclable

CRITERIO	LÍMITE																
Selección por color	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Color</th> <th style="text-align: left;">Contenido de vidrio blanco (%)</th> <th style="text-align: left;">Contenido de vidrio café (%)</th> <th style="text-align: left;">Contenido de vidrio verde (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vidrio blanco</td> <td>97 – 100</td> <td>0 – 3</td> <td>0 – 1</td> </tr> <tr> <td>Vidrio café</td> <td>0 – 5</td> <td>95 – 100</td> <td>0 – 5</td> </tr> <tr> <td>Vidrio verde</td> <td>0 – 10</td> <td>0 – 15</td> <td>85 – 100</td> </tr> </tbody> </table>	Color	Contenido de vidrio blanco (%)	Contenido de vidrio café (%)	Contenido de vidrio verde (%)	Vidrio blanco	97 – 100	0 – 3	0 – 1	Vidrio café	0 – 5	95 – 100	0 – 5	Vidrio verde	0 – 10	0 – 15	85 – 100
Color	Contenido de vidrio blanco (%)	Contenido de vidrio café (%)	Contenido de vidrio verde (%)														
Vidrio blanco	97 – 100	0 – 3	0 – 1														
Vidrio café	0 – 5	95 – 100	0 – 5														
Vidrio verde	0 – 10	0 – 15	85 – 100														
Materiales foráneos inorgánicos y no magnéticos	< 0.1 kg/t																
Metales magnéticos (compuestos de hierro)	< 0.005 kg/t Cualquier trozo más grande de 15 cm * 15 cm * 30 cm																
Aluminio	< 0.005 kg/t																
Plomo	< 0.001 kg/t																
Materia orgánica	< 0.5 kg/t																
Cerámica, piedras, porcelana	< 0.025 kg/t																
Humedad	< 2%																
Etiquetas	Cantidades mayores a lo normal inherente a los envases de vidrio																
Otros materiales foráneos	< 1 kg/t																
Pintura sobre el vidrio	No debe contener pintura con pigmentos índigo o ultramarino																
Contaminación	Cantidades excesivas de basura, humedad, arena, tierra, hormigón o cal																
Tamaño del vidrio triturado	Depende mucho de los criterios propios de la fábrica, procesadora. Generalmente se prefiere un tamaño homogéneo, entre 1,8 y 3,5 cm.																

Fuente: Röben, Eva. 2002. *El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Ciclo Económico*. Municipio de Loja/DED.

Adicionalmente, se deberá tomar en cuenta el tipo de recolección existente, dado que las eficiencias de separación lógicamente son mayores cuando ha existido un proceso de separación en la fuente.

27 Corporación OIKOS. Junio 2000. *Manual de Reciclaje de Plásticos*.

4. Sistemas manuales de separación de materiales

Los sistemas manuales son utilizados para recuperación artesanal o de pequeña escala. El flujo de estos sistemas es tipo batch o de parada, es decir, que se recibe un lote para ser procesado y se debe esperar a finalizar las actividades de separación para procesar un nuevo viaje o lote.

Las partes principales de este tipo de plantas son:

- Área de ingreso
- Área de separación
- Área de almacenamiento de reciclados
- Área de carga de rechazos
- Área de prensado
- Área de embalaje
- Área de salida

Como mínimo se requeriría que el área de separación tenga revestimiento. El vehículo con los residuos sólidos descargaría en el área de separación y los residuos se separarían con palas, recolectándose los materiales reciclables más visibles y separándose en diferentes sitios para su posterior enfardado. Se repite el proceso hasta que sea posible diferenciar y separar los materiales deseados. Posteriormente, se cargaría el material sobrante en los vehículos de transporte para descartar el material rechazado para que sea llevado al relleno sanitario. Estas actividades se facilitan si la planta de separación se encuentra cerca del relleno sanitario.

Solamente se requiere herramientas menores, a menos que las actividades de densificación o prensado se realicen con medios mecánicos. Se recomienda tener un área lo suficientemente amplia con contrapiso y buena ventilación.

Para el caso de sistemas manuales con un sistema previo de selección en la fuente, los procedimientos descritos son mucho más expeditos con porcentajes de rechazos mínimos, dependiendo del grado de separación conseguido en la fuente.

5. Sistemas mecanizados de separación de materiales

Estos sistemas funcionan de manera continua: los residuos son seleccionados conforme van llegando a la planta con el apoyo de bandas transportadoras mecánicas y de otros equipos que facilitan las actividades de separación, aprovechando determinadas características de los materiales contenidos en los residuos sólidos.

Uno de los principales aspectos a considerar, luego de conocer la cantidad de residuos a manejarse, es la ubicación de la planta. Para esto, se debe realizar un estudio de selección de alternativas de ubicación, escogiendo aquella que presente las mayores facilidades. Un aspecto comúnmente usado es la

ubicación de la planta dentro del área de facilidades del relleno sanitario. Esta situación facilita reducir costos de infraestructura (como vías, energía eléctrica, cerramientos, etc.) y de operación (como guardianía, cercanía para la eliminación de rechazos, etc.).

Las principales áreas de una planta de separación mecanizada son:²⁸

- Tolva de recepción
- Criba tambor
- Banda de reciclaje
- Electroimán
- Recipientes para materiales no recuperables
- Área de prensado y pesaje
- Área de bodegas

Las principales características de cada unidad se mencionan a continuación:

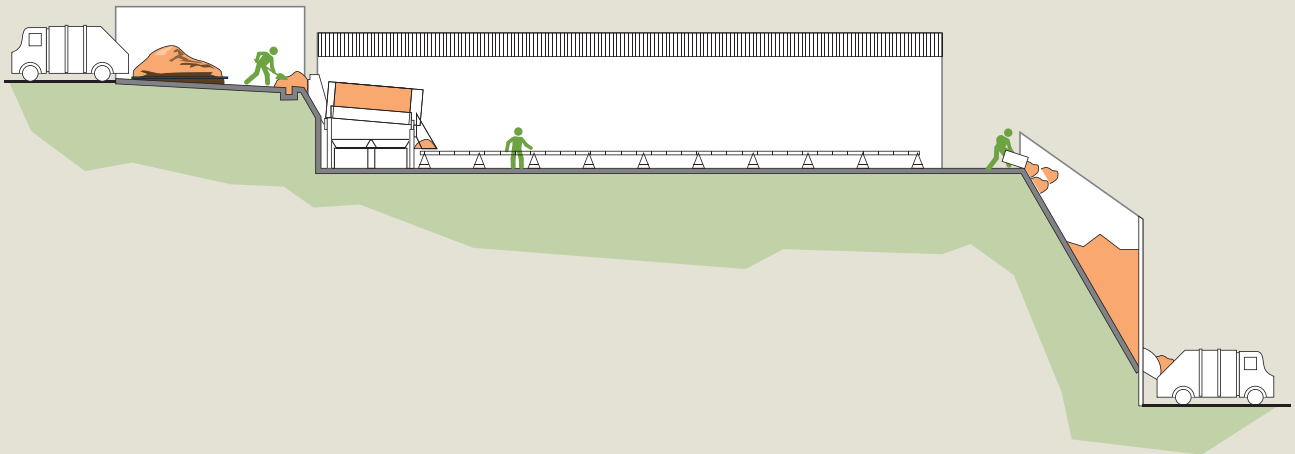
- La **tolva de recepción** es un área con el piso inclinado de hormigón, que facilita el ingreso de los residuos hacia la siguiente unidad. En esta primera unidad se puede ya realizar la separación de los residuos más voluminosos que puedan ser reciclados o que causarán molestias en las siguientes unidades de la planta.
- La **criba** tiene por función separar los materiales por tamaño.²⁹ Pueden ser cribas de trómel que son cilíndricas, ligeramente inclinadas y giratorias, que al realizarse el giro por las paredes con orificios, se separan los materiales más pequeños y son recolectados para su eliminación, permitiendo que continúen en el proceso de separación los restantes materiales de más tamaño. Las otras cribas son de discos y están formadas por filas sucesivas de discos verticales giratorios. Estos forman una superficie móvil que mezcla y transporta los materiales, pero los materiales finos caen por el espacio entre los discos.
- La **banda de reciclaje** es la parte más importante de la planta y es donde se realiza la separación de los materiales recuperables. En esta banda mecanizada se debe calcular la sección transversal más adecuada y su longitud, la potencia de los motores y la velocidad adecuada de la banda. De acuerdo a esto se establecerán los detalles mecánicos de su implementación.
- Los imanes o **electroimanes** se utilizan para la separación de materiales ferrosos. Existen tres tipos de estos componentes y son: polea motriz, tambor colgante y cinta magnética colgante. El primer tipo consiste en que la polea delantera donde se desliza la banda posee un imán, atrapando los metales que caen hacia un sitio de acumulación diferente al resto de residuos. El tambor magnético es un imán estacionario dentro de un tambor giratorio que captura los materiales y los descarga en otra banda para su acumulación. La cinta magnética está formada por un imán fijo colocado entre las poleas de un sistema transportador que está suspendido sobre las bandas de separación, en línea o transversalmente al flujo, para atrapar los metales ferrosos transportados.

28 Röben, Eva. *El Reciclaje*. Op. cit.

29 Lund, Herbert F. 1996. *Manual McGraw-Hill de Reciclaje*.

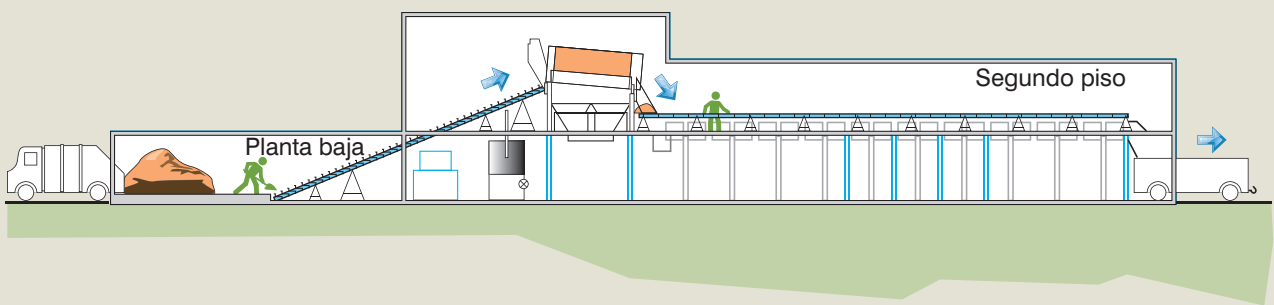
- Los **recipientes para almacenamiento** de reciclados sirven para contener temporalmente de manera separada estos materiales, para posteriormente transportarlos al área de prensado y enfardado. La modalidad de los recipientes de almacenamiento, depende de la forma como se haya instalado la banda transportadora de separación, conforme se muestra en los Gráficos 34 y 35. Para el primer caso, los recipientes son carritos donde el personal pone directamente los materiales separados. En el caso de la banda transportadora elevada, los materiales son arrojados a las denominadas chimeneas, en cuya base en la planta inferior hay carros grandes de almacenamiento para su posterior transporte al área de prensado.

Gráfico 34
Banda transportadora de separación sobre el piso



Fuente: Röben, Eva. 2002. El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico. Municipio de Loja/DED.

Gráfico 35
Banda transportadora de separación elevada



Fuente: Röben, Eva. 2002. El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico. Municipio de Loja/DED.

- Los materiales separados son llevados a las **prensas** hidráulicas (para cantidades mayores a 500 kg/día) para la formación de pacas, previo al pesaje y venta. El tamaño de la prensa se determinará dependiendo de la cantidad de materiales, siendo las más comunes las prensas pequeñas con una potencia de entre 5 y 9 kW y las grandes de entre 10 y 15 kW.
- Las **áreas de bodegas** son destinadas al almacenamiento de las pacas de materiales reciclados, previo a su venta. Para cada caso se deberá establecer las áreas y facilidades, recomendándose que sean áreas con contrapiso y cubiertas para mantener la calidad del producto.

6. Dimensionamiento de la separación de materiales

Para el dimensionamiento, se asumen los siguientes resultados de un estudio de caracterización.

Tabla 15
Ejemplo de composición de los residuos sólidos urbanos

SUBPRODUCTO	PORCENTAJE
Papel	12,67%
Cartón	5,67%
Bolsas plásticas (baja densidad)	5,67%
Botellas PET	3,67%
Plásticos de alta densidad	3,67%
Vidrio claro	2,67%
Vidrio color	1,33%
Metálicos	1,67%
Orgánicos de cocina	47,00%
Rechazos	16,00%
TOTAL	100%

De los valores descritos, en caso de un sistema de recolección diferenciado dependiendo del grado de colaboración de la ciudadanía, se tendrá un porcentaje de eficiencia en la separación domiciliar. En el ejemplo elegido, se asume una eficiencia en la separación en la fuente del orden del 70%. Adicionalmente, se toma en cuenta solo los residuos que llegarían a la planta de separación, es decir, los materiales aptos de acuerdo a la realidad de cada sitio (por ejemplo, los envases Tetra Pak son considerados como rechazos). En la Tabla 16 se resumen los materiales que llegarían a la planta de **separación**.

Tabla 16
Ejemplo de materiales a separarse

MATERIALES A RECICLARSE	PORCENTAJE EN LOS RS	EFICIENCIA SEPARACIÓN DOMICILIARIA	% DE MATERIAL A LA PLANTA	% DEL TOTAL
Papel	12,67%	70%	8,9%	34,2%
Cartón	5,67%	70%	4,0%	15,3%
Plástico baja densidad	5,67%	70%	4,0%	15,3%
Plástico alta y PET	3,67%	70%	2,6%	9,9%
PET	3,67%	70%	2,6%	9,9%
Metales	1,67%	70%	1,2%	4,5%
Vidrio claro y de color	4,00%	70%	2,8%	10,8%
TOTAL	37%		25,9%	100%

Dependiendo de la cantidad de material que entre a la planta, se dimensiona la longitud y la velocidad de la banda de separación, con base en rendimientos establecidos en las plantas de separación que se muestran en la Tabla 17.



© WWF/Jean Claude Constant

Tabla 17
Rendimientos de separación por tipo de material

MATERIAL	RENDIMIENTO 1 (KG/HORA)	RENDIMIENTO 2 (KG/HORA)
Papel tipo archivo	11,0	7,5
Papel kraft	21,0	75,0
Papel periódico	19,0	37,5
Papel bond	10,5	7,5
Cartulina dúplex (envase de productos alimenticios, medicamentos, etc.)	16,5	37,5
Cartón	22,0	75,0
Bolsas plásticas	12,0	28,0
PET	50,0	150,0
Plástico alta densidad (botellas, envases, etc.)	4,5	-
Vidrio	120,0	300,0
Lata de aluminio	-	45,0
Lata de hierro	-	45,0

Rendimiento 1: Planta de separación. Ciudad de Loja. Ecuador.

Rendimiento 2: Plantas de Europa.

Fuente: Adaptación Tabla 14, pág. 45 de "El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico de Eva Röben. Municipio de Loja/DED. 2002.

Entonces, el número de personas requeridas para la selección se calcula de acuerdo a la cantidad de residuos generados, los porcentajes de material apto para ser reciclado y a los rendimientos de separación de los residuos. Esto, a su vez, permite estimar la longitud total de la banda de separación. Para ello, se debe calcular la dimensión total de la banda transportadora para el final del período de diseño o, de ser el caso, dimensionar varias unidades de bandas de separación.

Para el caso del ejemplo, se asume que al final del período de diseño, se generarían 30 toneladas por día.

Tabla 18
Ejemplo de cálculo del requerimiento de personal

Toneladas día	10				
Horas efectivas de trabajo	8				
MATERIALES A RECICLARSE	% DE MATERIAL A LA PLANTA	TON/DÍA	RENDIMIENTO (KG/H)*	PERSONAL CALCULADO	PERSONAL ASUMIDO
Papel (**)	8,9%	0,89	15,40	7,20	8,00
Cartón	4,0%	0,40	22,00	2,25	3,00
Plástico baja densidad	4,0%	0,40	12,00	4,13	5,00
Plástico alta	2,6%	0,26	4,50	7,13	8,00
PET	2,6%	0,26	50,00	0,64	1,00
Metales	1,2%	0,12	45,00	0,32	1,00
Vidrio claro y de color	2,8%	0,28	120,00	0,29	
TOTAL	25,9%	2,59			26,00

Notas explicativas:

(*): Se asume los rendimientos 1, de la Tabla 17.

(**): Para el rendimiento del papel se ha promediado los rendimientos de los diferentes tipos de papel.

Se asume un jornalero para metales y vidrios.

Para el cálculo del personal requerido se multiplican las toneladas por día para pasar a kilogramos, luego se divide para el número de horas de trabajo y el rendimiento en kg/hora. De lo observado, en varias plantas de separación, un jornalero de separación separa dos o más materiales a la vez, conforme adquiere experiencia en el trabajo de separación.

Se debería calcular con base en la producción inicial de residuos, la cantidad de jornaleros separadores requeridos en el arranque del proyecto y realizar las correcciones operativas en base a los rendimientos reales de la planta de separación.

Una vez definida la cantidad de jornaleros, se determina la longitud de la banda de separación, tomando en cuenta que un jornalero va a cada lado de la banda y que aproximadamente el espacio de maniobra es de un metro por jornalero. Adicionalmente, se debe dejar un espacio entre el inicio de la banda y el primer jornalero, así como entre el final de la banda separadora y el último jornalero. Por lo tanto, para el ejemplo, la longitud mínima de la banda sería de:

$$L = 26/2 + 2 = 15 \text{ m}$$

La potencia (W) de la transmisión requerida se calcula con la expresión siguiente:³⁰

$$P = \frac{T_e \times V}{60 \times E}$$

Donde:

- P = Potencia en KW
- T_e = Tensión efectiva (N)
- V = Velocidad de la cinta (m/min)
- E = Rendimiento del motor

Para el ejemplo de cálculo, se asume una tensión efectiva de $30 N$. El rango de velocidades de la cinta transportadora normalmente oscila entre 3 y 6 m/min, asumiéndose una media de $4,5$ m/min y un rendimiento del motor del orden del 80% . La potencia sería de:

$$P = \frac{30 \times 4,5}{60 \times 0,80}$$

$$P = 2,81 \text{ KW}$$





© WWF/Jean Claude Constant

CAPÍTULO 10

Tratamiento de residuos orgánicos

De acuerdo a la clasificación por la naturaleza química de los residuos se establecen dos tipologías de residuos: los inorgánicos o abiogénicos, y los orgánicos o biógenos.

Los **residuos orgánicos**³¹ se refieren a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Entre las fuentes de residuos orgánicos se tiene actividades agropecuarias, actividades agroindustriales, industria láctea, industria frigorífica, industria cerealera, industria aceitera y de granos oleaginosos, industria pesquera, industria forestal y los residuos sólidos urbanos. En general y dependiendo de la localidad, los residuos orgánicos oscilan entre el 50% y el 70% del total de los residuos sólidos urbanos. En comparación con lugares en el continente, hoy en día el contenido de residuos orgánicos dentro de la composición de los residuos sólidos urbanos en islas oceánicas es bastante bajo, dado que la mayor cantidad de productos orgánicos que se importan del continente están pre-procesados y envasados para ser transportados. Por esta razón, la cantidad de residuos orgánicos es menor y la cantidad de residuos reciclables es mayor dentro de la composición de los residuos urbanos, comparable a la composición de residuos domésticos en ciudades.

Dentro de la fracción **orgánica** de los residuos sólidos urbanos, estos se componen generalmente de desechos de origen vegetal y, en menor proporción, de origen animal. La principal dificultad para su tratamiento es que la separación efectiva de estos residuos de los inorgánicos encarece el proceso.

En varios casos, se ha utilizado alternativas de tratamiento de estos residuos:

- Los residuos como fuente de alimento animal
- Los residuos como fuente energética
- Los residuos orgánicos como fuente de abonos

31 OPS. 1999. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*; y, *Maine Compost School*. 1992. *On-Farm Composting Handbook*. Maine, June 1992.

Para el primer caso, ha existido sobre todo en zonas rurales la costumbre de utilizar los residuos orgánicos de cocina para alimentar especialmente al ganado porcino. Esta práctica no es recomendable cuando se utilizan residuos sólidos urbanos en zonas o sectores en donde no existe separación en la fuente por la presencia de todo tipo de residuos. Así mismo, se ha observado la práctica de alimentar ganado vacuno y porcino directamente en los botaderos de basura, que conlleva riesgos para los animales y los consumidores de su carne.

En otros casos, los residuos de industrias alimenticias se utilizan para transformarlos en alimento de animales con productos garantizados y libres de contaminantes, tales como los balanceados.

Para el caso de la utilización de los residuos como fuente de energía se trata de aprovechar la presencia de macromoléculas en estos residuos con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Si se degradan estas macromoléculas rompiendo esos enlaces se puede liberar energía química de enlace a estos residuos utilizados como fuente de energía, lo que se denomina biomasa.

La obtención de energía de la biomasa puede ser por vía seca o húmeda. Los procedimientos por vía seca son de tipo físico-químico, basados en la transformación por la utilización de altas temperaturas a través de combustión directa, carbonización, pirólisis o gasificación. Por vía húmeda se tienen procesos bioquímicos en el medio acuoso a través de microorganismos, pudiendo ser anaerobia o aerobia.

En lo que se refiere a la utilización de los residuos orgánicos como materia para la producción de abonos orgánicos, es importante conocer inicialmente algunas definiciones. Se entiende por abono a la sustancia o compuesto de origen abiógeno o biógeno que presenta alguna propiedad positiva para los suelos y cultivos. Los abonos minerales son compuestos químicos que pueden pertenecer a la química inorgánica como abonos potásicos y fosfatados, o a la química orgánica como la úrea y el amoníaco.

Los abonos orgánicos o bioabonos son sustancias o compuestos orgánicos de origen vegetal o animal que pertenecen al campo de la química orgánica y que son en general incorporados directamente al suelo sin tratamientos previos. Cabe recalcar que lo mencionado no significa que se pueda poner de manera directa los residuos orgánicos al suelo, sino que el material añadido al suelo debe haber pasado por una fase de mineralización y de estabilización y tener macro y micronutrientes en las formas más asimilables para los productores primarios.

Una de las técnicas que permite la biodegradación controlada de la materia orgánica, previa a su integración al suelo, es el compost producido a través de la técnica conocida como compostaje. La otra es el humus, a través de la lombricultura. Estas técnicas se detallan continuación.



© WWF/Jean Claude Constant

1. Compostaje

El compostaje se define como la degradación bioquímica de la materia orgánica fermentable, para convertirla en un compuesto bioquímicamente inactivo llamado compost.³² El compost es un material que se obtiene por la acción microbiana controlada donde se utilizan los desechos orgánicos como materia prima. Se hace que los desechos alcancen un grado de digestión tal que al ser aplicados al suelo no provoquen una competencia entre sus microorganismos y las plantas superiores por los nutrientes que necesitan. El compostaje se desarrolló originalmente como una forma de mejorar los suelos para reponer la materia orgánica y micronutrientes perdidos debido al sobrecultivo. El proceso de compostaje es semejante al de la naturaleza para renovar el suelo.

1.1 Proceso de compostaje y dimensionamiento

El compostaje se realiza en las siguientes fases:³³

a) Preacondicionamiento

Consiste en las acciones de ingreso a la planta de la materia orgánica (separada de los residuos inorgánicos); por eso comúnmente se utiliza los residuos de mercados. Es deseable la existencia de una báscula para el control de los volúmenes manejados.

De ser el caso se puede realizar una clasificación adicional para separar los inorgánicos todavía remanentes en los residuos. Una vez realizada esta separación, se debe efectuar un proceso de trituración o de desmenuzamiento de los desechos.

La trituración tiene por objeto eliminar trozos grandes de desechos orgánicos que podrían detener el proceso de biodegradación. Al desmenuzar los residuos, estos aumentan la superficie específica y la capacidad de retener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación realizado por microorganismos.

Se recomienda que el sistema de trituración sea lo más sencillo y con el menor consumo de energía, con el fin de disminuir costos. Los sistemas más utilizados son:

- Molinos trozadores o chipeadoras
- Cribas tambores
- Cribas troceadoras
- Troceadores cilíndricos

32 Trejo Vázquez, Rodolfo. 1996. *Procesamiento de la basura urbana*. Editorial Trillas.

33 Röben, Eva. 2002. *Manual de compostaje para Municipios*. DED/ Municipio de Loja.

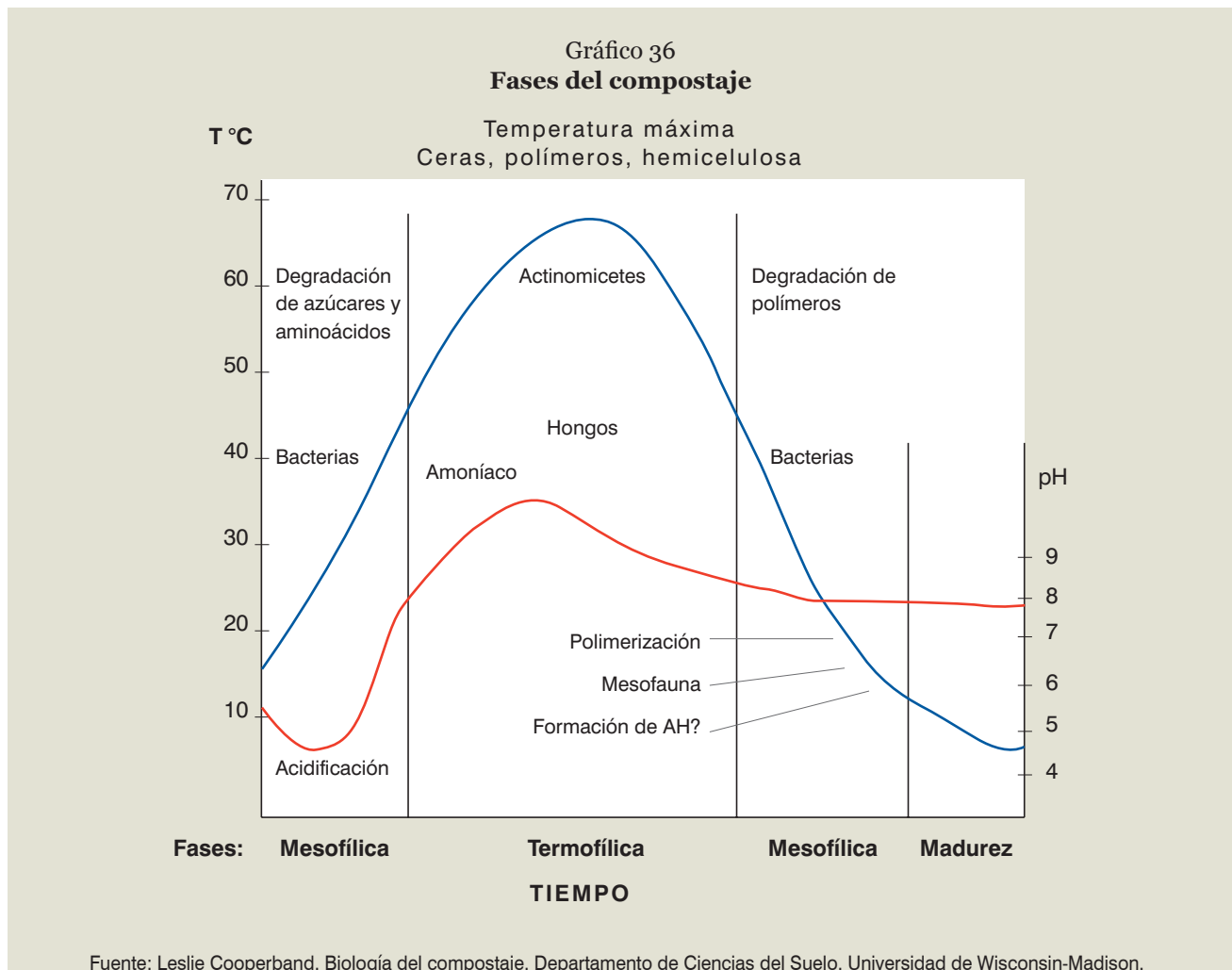
b) Proceso biológico

En este proceso existe una disminución del 50% o más de la materia orgánica inicial, la misma que se pierde durante la fase de fermentación por causa de la evaporación y digestión microbiológica.

Una vez troceados los residuos orgánicos, pasan a la fase del proceso biológico, que puede ser manual o mecanizado con aireación natural o mecánica.

En la primera fase, el proceso biológico del compostaje comienza con el trabajo de las bacterias mesofílicas, provocándose un aumento rápido de la temperatura e iniciándose el proceso de biodegradación. La temperatura llega hasta 75°C, y este proceso se da en los primeros días del compostaje.

En la segunda fase, se da la fermentación principal y por la actividad microbiana de las bacterias termófilas la temperatura se mantiene en niveles relativamente altos. Esta fase se mantiene entre dos a cuatro semanas en plantas mecanizadas y de cuatro a ocho semanas en plantas manuales.



Se debe diferenciar dos regiones en las pilas de compostaje:

- La zona central o núcleo de compostaje, que es donde se dan los cambios térmicos más importantes
- La corteza o zona exterior que rodea el núcleo, donde los procesos no son tan evidentes

En estas fases, las emisiones y necesidad de aireación y humedecimiento son más urgentes y por tanto requieren de una buena supervisión y control.

La fase final o de maduración e higienización es la más lenta, con una disminución de emisiones. Si bien no son estrictamente necesarios la aireación ni el humedecimiento, se recomienda mezclar y revolver el material para que este sea homogéneo e higiénico para que la calidad del producto final sea mejor.

c) Dimensionamiento y operación³⁴

Inicialmente, con el conocimiento de la cantidad de metros cúbicos de materia orgánica a tratar, se debe diseñar las parvas, camellones o pilas, conforme se decida para cada caso. En general, se puede indicar que no es recomendable la conformación de las unidades de compostaje con pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de volumen en estas son muy bruscas. No se recomienda que la base sea menor de 2 metros y, como regla general, la altura debe ser la mitad de la base, con lo cual se tendrá una buena relación superficie / volumen.

Como ejemplo de dimensionamiento, se va a suponer que una comunidad genera diariamente 5 m³ de material orgánico, el mismo que ya ha sido preclasificado y desmenuzado. Así mismo, si se asume una base del camellón o parva de 3 metros y una altura de 1,5 metros, se tendría 2,25 m³ por cada metro de camellón, por lo que diariamente se tendría un avance de camellón de 2,22 metros. Por tanto, una parva semanal requeriría 15,5 m, asumiéndose 16 m/semana, con un área de 48 m²/semana (3 m x 16 m).

El tiempo de compostaje es el tiempo transcurrido desde la conformación de la parva hasta que el compost sea estable y pueda utilizarse. Este tiempo varía según los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, porcentaje de humedad relativa, precipitación, tipo de clima, etc.), operación y características del producto final. Este valor debe ser establecido para cada caso, según las condiciones mencionadas que hacen particular cada experiencia, pero se tienen tiempos que fluctúan entre cinco y doce meses.³⁵ Existen otras experiencias que mencionan tiempos a partir de los tres meses para conseguir un compost de buena calidad.

En base al tiempo de compostaje, se estima el área requerida para el proceso de compostaje. Para la selección del sitio se recomienda considerar los siguientes aspectos:

34 Rimache Artica, Mijail. 2008. *Abonos Orgánicos*. Lombricultura. Perú.

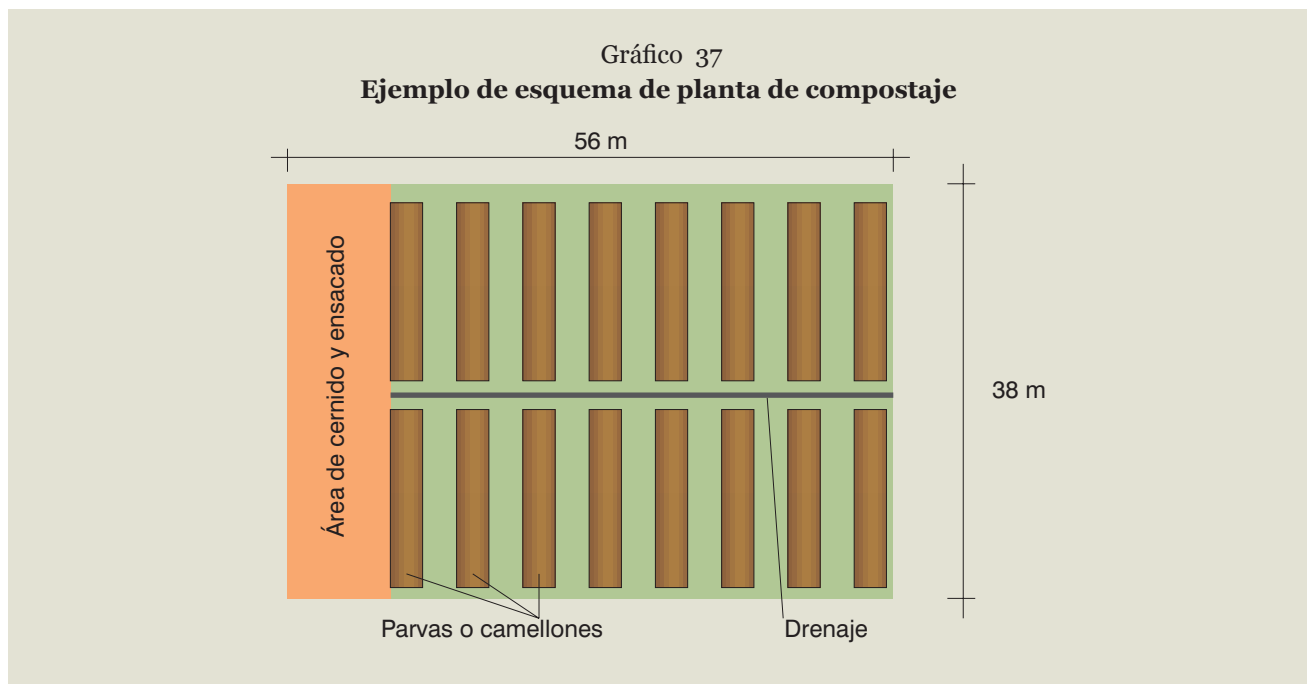
35 Para mayor información, ver *Manual de compostaje para municipios*. Pág. 35, Eva Roeben, Loja, 2005.

- Evitar zonas inundables, por lo que debe ubicarse en partes altas del terreno, no en depresiones. El terreno deberá tener una pendiente mínima de 1% para escurrimiento de aguas superficiales y drenaje de lixiviados (se debe considerar la construcción de cunetas para desviar el agua de escorrentía)
- En sitios donde el suelo es permeable, se debe impermeabilizar el área de las composteras y de los canales de recolección de lixiviados, para evitar la contaminación de los mantos freáticos

Una vez definida el área donde se ubicará la planta de compostaje, se realizará el sistema de drenaje ubicado junto a cada área de camellones, y un drenaje principal para la recolección de lixiviados. El trazado de drenajes dependerá de la forma y topografía del terreno.

Continuando con el ejemplo, se determina el área requerida para la planta de compostaje asumiendo un tiempo de compostaje de 4 meses.

Entonces, con los datos anteriores, el primer camellón o parva tendría que pasar aproximadamente 16 semanas para alcanzar la calidad deseada, por lo que el área neta solo para los camellones de compost sería 768 m^2 ($16 \text{ semanas} \times 48 \text{ m}^2 = 768 \text{ m}^2$). Además hay que considerar que para las actividades de volteo se requieren pasillos entre las parvas. El ancho de los pasillos depende de la forma de operación a utilizarse. Si es manual, un ancho adecuado es de 2 a 2,50 metros; mientras que si es mecanizado como por ejemplo con tractor o una cargadora frontal, el ancho mínimo del pasillo sería de 4 m. Para el caso del ejemplo, se asume 3 metros de ancho para una operación con minicargadora, por lo que el área de pasillos sería: $15 \times 16 \times 3 = 720 \text{ m}^2$ (a razón de 15 pasillos, por 16 metros de largo de cada parva y 3 metros de ancho).



Por lo descrito, el área de la planta de compostaje sería de 1.488 m², a los cuales se añadiría un área adicional para el área de cernido, bodega, área de ensacado, área administrativa, dando un total global de 2.000 m².

En zonas donde exista elevada precipitación, se deberá tener una cubierta sobre el área de compostaje, con el fin de mantener adecuadas condiciones de humedad.

Un probable esquema de la planta hipotética del ejemplo sería la que se presenta en el Gráfico 37.

d) Parámetros para garantizar un compostaje aeróbico y termofílico³⁶

No es recomendable poner los desechos orgánicos directamente en la pila de compost, especialmente cuando están compuestos principalmente por desechos de comida. Estos desechos, por lo general, son demasiado húmedos y contienen una alta cantidad de nitrógeno (por ejemplo, frutas) y se deberían mezclar con un material seco y con alto contenido de carbono (por ejemplo, aserrín) para crear un ambiente ideal para los microorganismos. A continuación se describen los parámetros más importantes que se deberían tomar en cuenta en la composición de la materia prima del compost.

- **Relación C/N:** El carbono y el nitrógeno son los elementos más importantes para el crecimiento de los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje. Para tener óptimas condiciones para el crecimiento de las poblaciones, la relación cuantitativa entre carbono y nitrógeno debe ser aproximadamente de C/N = 30:1. Cuando la relación es muy a favor del carbono, la provisión de nitrógeno es insuficiente para un óptimo crecimiento de las poblaciones bacterianas y el compost se mantiene frío, causando una descomposición lenta. En el caso contrario, el exceso de nitrógeno es eliminado en forma de gas amoníaco causando un olor desagradable. En este caso, la descomposición tampoco es óptima y el producto final es de menor calidad. Las relaciones C/N de materiales usados para el compost se muestran en la Tabla 19.

En general, los materiales verdes y frescos son ricos en nitrógeno; mientras que los oscuros y secos son ricos en carbono. Para hacer una pila de compost en óptimas condiciones simplemente se debería usar una combinación de estos materiales. En el caso de los residuos orgánicos urbanos –que en su mayoría son restos de vegetales– se puede ver que tienen una relación C/N demasiado a favor del nitrógeno. En este caso, se recomienda mezclar estos residuos con astillas de madera y/o aserrín. Además, estos materiales proveen a la pila una consistencia esponjosa que facilita la aireación del material que es sumamente importante. Por la misma razón, no se recomienda reemplazar las astillas de madera o el aserrín por papel o cartón porque estos materiales se empapan de líquidos y forman una masa compacta.

36 Robert Rynk et al, Natural Resource, Agriculture and Engineering Service (NRAES), Maine Compost School. 1992. On-Farm Composting Handbook, Maine, June 1992.

Tabla 19
Relación C/N de algunos materiales

MATERIALES RICOS EN CARBONO	
	C/N
Hojas en otoño	30-80:1
Paja	40-100:1
Astillas de madera o aserrín	100-500:1
Papel	150-200:1
Diario o cartón corrugado	560:1
MATERIALES RICOS EN NITRÓGENO	
	C/N
Restos vegetales	15-20:1
Café	20:1
Pasto cortado	15-25:1
Estiércol	5-25:1

- **Balance nutritivo:** Cantidades adecuadas de P, K y minerales traza (Ca, Fe, B, Cu, etc.) son esenciales para el crecimiento microbiano y para tener una buena calidad del producto final. Estos elementos no son limitantes porque están presentes en las concentraciones necesarias en los materiales crudos del compost, especialmente en los restos vegetales.
- **pH:** Un rango inicial de pH entre 5,5 y 8,5 resulta óptimo para el crecimiento de los microorganismos del compost. El pH cambia durante las diferentes fases de compostaje (ver sección anterior “Proceso biológico”) porque a medida que las bacterias y hongos digieren la materia orgánica se liberan ácidos orgánicos. Como consecuencia, se produce una caída del pH en las primeras fases del compost que favorece el crecimiento de los hongos que son generalmente acidófilos y que se dedican a la ruptura de la celulosa y de la lignina. Estos ácidos orgánicos se consumen después en las fases posteriores. Sin embargo, si el ambiente se vuelve anaeróbico, y por ejemplo se tapa la pila con un plástico, la acumulación de los ácidos como resultado de la fermentación puede bajar el pH por debajo de 4,5 y limitar seriamente la actividad microbiana.

Tabla 20
Resumen de parámetros para un compostaje aeróbico y termofílico

PARÁMETRO	RANGO ACEPTABLE	RANGO ÓPTIMO
Relación C/N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 – 65%	50 – 60 %
Tamaño promedio de las partículas de madera o aserrín	3 – 15 mm	Variable
pH	5,5 – 9,0	6,5 – 8,0
Temperatura en el centro de la pila	45 - 65° C	50 – 60° C



© WWF/Jean Claude Constant





CAPÍTULO 11

Convenio internacional para prevenir la contaminación del mar por los buques

A nivel mundial, la mayoría de productos y mercancías se transportan por vía marítima. Por ejemplo, en la Unión Europea se estima que el 70 por ciento del comercio con terceros países y el 41 por ciento del comercio regional se realiza por esta vía y, más aún, cuando las principales materias de comercio son el crudo y los productos derivados del petróleo, de alta importancia para la economía y la producción de la región.³⁷

Pero, a su vez, esta actividad genera residuos y efluentes de varios tipos. Estos requieren medidas preventivas y un adecuado manejo para evitar graves problemas de contaminación si son descargados directamente hacia el mar, especialmente los vertidos de hidrocarburos realizados por los buques. Estas descargas pueden ser principalmente en forma de: mezclas oleosas en aguas de lastre de los buques petroleros; agua contaminada por la limpieza de bodegas en los buques cargueros; y, mezclas oleosas de fuel de los cuartos de máquinas de los diferentes tipos de embarcaciones.

Por lo mencionado, y con el fin de prevenir estas prácticas, el convenio internacional MARPOL (abreviación de polución marina – “marine pollution”) se creó en el año 1973 y fue modificado en el año 1978 (por lo que se lo conoce como MARPOL 73/78).³⁸ La Asociación Marítima Internacional, con sede en Londres, auspicia el convenio.

37 Cantano, Alis. *Ministerio de Medioambiente del Reino Unido*. 2003. El Convenio MARPOL 73/78: Un Estudio Detallado.

38 Convenio MARPOL 73/78. Para más información visitar www.wikipedia.org

1. Objetivo y estructura del convenio internacional MARPOL

El Convenio MARPOL es un instrumento jurídico internacional que busca prevenir la contaminación de los mares, producida por los buques y otros medios de transporte marítimo, ya sea por sus actividades normales o por accidentes marítimos.

Su objetivo es preservar el ambiente marino mediante la completa eliminación de la polución por hidrocarburos y otras sustancias dañinas, así como la minimización de las posibles descargas accidentales. Actualmente, 119 países a nivel mundial han ratificado el convenio.

El convenio MARPOL presenta reglas de comportamiento y control y comprende una serie de reglas agrupadas en anexos, conforme a lo siguiente:

- Anexo I. Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos
- Anexo II. Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel
- Anexo III. Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos
- Anexo IV. Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques
- Anexo V. Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques
- Anexo VI. Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques

2. MARPOL, Anexo V: Contaminación por basura

A continuación se presenta un resumen del Anexo V del Convenio MARPOL 73/78 correspondiente a la contaminación por basura.³⁹

En la Regla 1 del Anexo V, correspondiente a definiciones, se menciona que el término basura corresponde a “toda clase de restos de víveres – salvo el pescado fresco y cualesquiera porciones del mismo– así como los residuos resultantes de las faenas domésticas y trabajo rutinario del buque en condiciones normales de servicio, los cuales suelen echarse continua o periódicamente”.

Así mismo, se define como zona especial a “cualquier extensión de mar en la que, por razones técnicas reconocidas en relación con sus condiciones oceanográficas y ecológicas y el carácter particular de su tráfico marítimo, se hace necesario adoptar procedimientos especiales obligatorios para prevenir la contaminación del mar por las basuras”.

39 <http://www.marpol.net/convenio6.htm> y http://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78

La Regla 2, respecto al ámbito de aplicación, indica que las reglas de este anexo se aplican a todos los tipos de embarcaciones.

La Regla 3 especifica los tipos de residuos que se pueden echar al mar, señalando el pretratamiento que se les debe dar, así como las distancias mínimas a las playas más cercanas requeridas para poder efectuar estas descargas. También señala la necesidad de mantener un registro de estas descargas. Por ejemplo, se menciona que se podría realizar descargas de residuos de comidas luego de haberlas triturado (tamaño menor a 25 mm) a la mayor distancia posible de la tierra pero en ningún caso a menos de 12 millas marinas de la tierra más cercana. Se indica también que cuando los residuos estén mezclados por otros residuos para los que rijan distintas prescripciones de eliminación o descarga, se aplicarán las prescripciones más rigurosas.

La Regla 4 se refiere a prescripciones especiales para la eliminación de basuras y especifica el manejo desde plataformas fijas y flotantes, así como de los buques relacionados con estas.

La Regla 5 se refiere a que las sustancias perjudiciales deben ir adecuadamente estibadas y sujetas, para que sea mínimo el riesgo de dañar el medio marino y evitar poner en riesgo la seguridad del buque y de las personas que pueda estar a bordo.

En la Regla 6 se menciona excepciones a las reglas anteriores, tales como casos de emergencias para proteger la seguridad de la embarcación y de las personas, así como averías.

La Regla 7, correspondiente a las instalaciones y servicios de recepción, señala que los Gobiernos suscritos al convenio MARPOL se comprometen a brindar las instalaciones adecuadas en puertos y muelles para la recepción y servicios de manejo de los residuos.

En la Regla 8, referente a la supervisión de las prescripciones operacionales por el estado rector del puerto, se establece los aspectos operativos de control por parte de los operadores del puerto.

La Regla 9 establece aspectos de rotulación, planes de gestión de basuras y mantenimiento de registros. En estos numerales se establece los requisitos de rotulación de acuerdo al tamaño de las embarcaciones, así como la necesidad de que los buques tengan un plan de gestión de manejo detallado de los residuos sólidos en sus diferentes fases que debe ser cumplido por la tripulación. Además, establece la necesidad de mantener un registro de la cantidad de residuos, su forma de manejo y eliminación.

En julio de 2011, la Organización Marítima Internacional (OMI) aprobó amplias enmiendas al Anexo V que se espera que entren en vigor en el año 2013. La revisión al Anexo V prohíbe la descarga en el mar de todo tipo de basura, a menos que se disponga lo contrario bajo circunstancias específicas.





© WWF/Jean Claude Constant

CAPÍTULO 12

Manejo de desechos en islas oceánicas: el caso de las Islas Galápagos

Las Islas Galápagos están ubicadas en el Océano Pacífico, a 960 kilómetros del Ecuador continental, con una superficie terrestre total de 788.200 has. El archipiélago está conformado por 19 islas, 47 islotes y al menos 26 rocas o promontorios de origen volcánico. El 96.7% (761.844 has.) de su superficie constituye parque nacional; y, el 3.3% restante (26.356 has), zona colonizada formada por áreas urbanas y agrícolas en las islas San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Floreana. Otra isla poblada es Baltra, donde funciona una base militar y el aeropuerto principal de Galápagos. El resto de islas no están habitadas por seres humanos.

Galápagos es una de las 25 provincias del Ecuador. Su capital es Puerto Baquerizo Moreno y está ubicada en la Isla San Cristóbal. La provincia se divide en tres cantones: Santa Cruz, San Cristóbal (que incluye a Floreana), e Isabela.

Las Islas Galápagos han logrado relevancia mundial y reconocimiento global debido a su singularidad endémica tanto marítima como terrestre, a su formación geológica y a su ubicación geográfica en la convergencia de cinco importantes corrientes marinas. También son conocidas mundialmente por haber sido la inspiración de la teoría de la evolución por selección natural de Charles Darwin.⁴⁰

40 WWF y Toyota. 2010. *Plan de Manejo de Desechos para las Islas Galápagos*. WWF. Puerto Ayora, Galápagos.

de inmigrantes. La población actual crece a un ritmo superior al 6% anual.⁴¹ Si la tendencia continúa, la población se duplicará en los próximos 12 años.

Una de las amenazas más críticas para las Islas Galápagos ha surgido casi inadvertida en las últimas dos décadas: una mayor generación de desechos y un inadecuado manejo de los desechos. Estas amenazas están directamente relacionadas al número creciente de habitantes y turistas, y a nuevos patrones de consumo y de estilos de vida.

Los problemas de los desechos afectan a la tierra en las islas habitadas y al agua en todas las islas. Los desechos y su mal manejo se convierten fácilmente en desechos marinos, afectando al frágil ecosistema marino, e incluso a las costas de las islas inhabitadas. Un número desconocido de animales muere cada año cuando se enreda en trozos de cuerda o bolsas de plástico, o cuando consume basura flotante.

Más de 500 toneladas de productos de uso diario se envían a las islas cada mes. Al final, estos productos y sus envases generan residuos. Actualmente, el envío de desechos de regreso al Ecuador continental no es una opción debido al alto costo y a la falta de infraestructura adecuada. La falta de equipo, recursos o capacidad técnica, en muchos casos, ha dado lugar a la acumulación de desechos sueltos en las calles o a la quema incontrolada de desechos en botaderos a cielo abierto. Sin embargo hay también casos exitosos de Municipios que manejan una gestión integral de residuos.

Más del 60% del total de la basura doméstica de Galápagos se genera en la Isla Santa Cruz, que está habitada por un 60% de la población total de Galápagos y que es el centro de la infraestructura turística en el archipiélago. Desde 2006, WWF y Toyota han colaborado con el Municipio de Santa Cruz para implementar un sistema eficiente de manejo de desechos y reciclaje. A continuación se presenta en detalle el caso de la Isla Santa Cruz.

1. Estudio de caso: Sistema Integral de Manejo de Desechos en la Isla Santa Cruz, Galápagos – Ecuador

La Isla Santa Cruz lleva su nombre en honor a la Cruz de Cristo, y en inglés es conocida como “Indefatigable”. En esta isla se ubica el cantón Santa Cruz y su cabecera cantonal es Puerto Ayora. Tiene una superficie de 986 km² y una altitud máxima de 864 metros. Cuenta con la mayor población de las islas con aproximadamente 12.559 habitantes en el año 2008,⁴² registrando un índice de crecimiento anual con relación al año 2001 de 6,9%. El 84% de la población del cantón está en el área urbana, mientras que el 16% de los habitantes está en el área rural.

41 WWF. 2003. *Migración y Ambiente en las Islas Galápagos*. WWF. Quito, Ecuador.

42 Proyecciones realizadas por el Instituto Ecuatoriano Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para el año 2008.

La Estación Científica Charles Darwin y las oficinas centrales del Servicio del Parque Nacional Galápagos se ubican en la Isla Santa Cruz. En el área rural se asientan las parroquias de Bellavista y Santa Rosa, y pequeños poblados: Salasaca, El Carmen, Occidente, El Camote y El Cascajo (AME, 2003).

En cuanto al servicio de agua, el 77,5% de las viviendas se abastece de agua a través de la red pública, el 5% de pozos, el 2% a través de las vertientes, el 8,4% por carro repartidor y el 7% a través de otro medio. El problema principal de este servicio tiene que ver con la calidad, por la alta concentración de cloruros (800 a 1200 mg/lt), y coliformes fecales, por lo que el agua suministrada por la red es para aseo, debiendo adquirirse agua embotellada para consumo humano. En cuanto al servicio de alcantarillado, apenas el 3,6% tiene conexión a la red pública de alcantarillado; mientras que el 88,7% tiene soluciones individuales como letrinas o pozos ciegos; el 6,2% arroja los efluentes en grietas; y, el 1,6% en otros (INGALA, 2006).

En lo que se refiere al servicio de residuos sólidos en la Isla Santa Cruz, se ha realizado una serie de estudios técnicos y propuestas de manejo desde el año 1995, entre ellos los más importantes son:

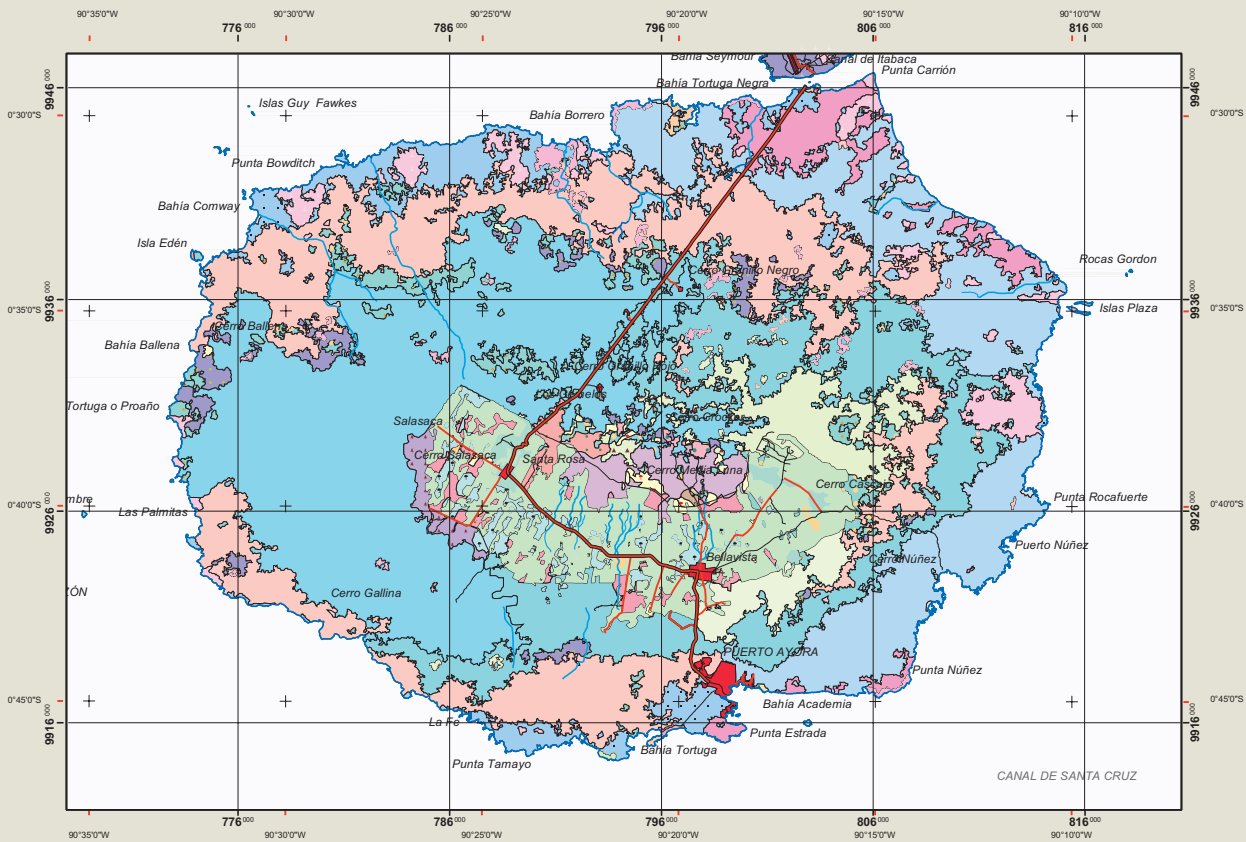
- Cynthia Palmer produjo el documento “Notes on SANITEC Proposal for Management of Solid Wastes, Puerto Ayora and Bellavista. Preliminary notes only”, en Diciembre de 1995, en el que planteó una alternativa de manejo para los desechos sólidos de las embarcaciones.
- Con financiamiento del Banco del Estado, la Asociación INTERGRUPO SANITEC realizó el “Estudio de Factibilidad y Diseños definitivos del proyecto de desechos sólidos para la ciudad de Puerto Ayora y Bellavista, Provincia de Galápagos”, de 1995 a 1997.
- Sandra Cointreau–Levine elaboró el documento “Galápagos Program of Integrated Environmental Management Inter–American Development Bank Project Preparation. Solid Waste Management. First Draft for Local Inputs an Review” , en Noviembre de 1997.
- USAID, Fundación Carvajal y Fundación Natura elaboraron conjuntamente el “Proyecto de Manejo Integral de Residuos Sólidos en las Islas Galápagos - Ecuador” de 1997 a 1999.

Es importante mencionar que en el año 1995, Santa Cruz tenía una cobertura del servicio de barrido del orden del 49%, de los 4,4 Km aptos de barrer. Además, existía una cobertura de recolección de residuos del 71% de las 6,2 Ton/día generadas. Para brindar el servicio descrito, se contaba con 3 barrenderos (dos de ellos con más de 70 años de edad), un chofer y cuatro jornaleros en recolección. La recolección se realizaba con una volqueta de 8 m³ del año 1990. No existían actividades de recuperación, reciclaje ni tratamiento de residuos orgánicos (Ltda. 1995) (Fundación Natura).

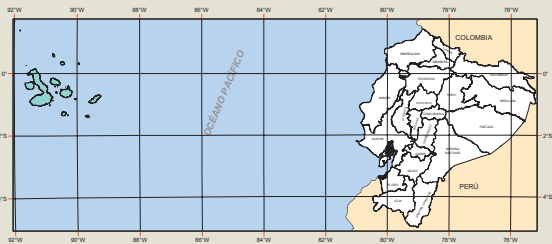
Hasta noviembre de 1997, el sitio de disposición final estaba localizado cerca de las viviendas y dentro del área de recarga de aguas subterráneas que suministraban el servicio a la ciudad. En ese sitio no se tenía ninguna infraestructura; el manejo era el típico de un botadero a cielo abierto sin ningún control; e incluía la quema de basuras (Fundación Natura).

Gráfico 39 Isla Santa Cruz, Galápagos

ECUADOR ESCALA 1:150.000



UBICACIÓN DE LAS ISLAS GALÁPAGOS SEGÚN EL CONTINENTE



SIMBOLOGÍA	
	Camino principal
	Camino secundario
	Sendero
	Curva indice
	Curva intermedia
	Línea de costa
	Hidrografía
	Ciudades

LEYENDA

COBERTURA		COBERTURA	
CODIGO	SUBTIPO	CODIGO	SUBTIPO
Ma	Manglar	Pcr	Vegetación pionera sobre ceniza volcánica
BsaP	Arborea seca abierta de Palo Santo	PI	Vegetación pionera sobre lava
BscP	Arborea seca cerrada de Palo Santo	EIG	Vegetación invasora de Guayaba
Bsm	Arborea seca mixta: P. Santo, Pappagea, Matazarano	EPr	Vegetación invasora de Poma Rosa
BI	Arborea de transición: Guayabillo, Lechoso, U. Gato	ECa	Vegetación invasora de Cascanilla
BHL	Arborea húmeda de Lechoso	ECe	Vegetación invasora de Cedro
AsIM	Arbustiva seca en Litoral de Monte Salado	EPF	Vegetación invasora de Pastos
AsMI	Arbustiva seca mixta: Lechoso, Tuna, Chala	EIM	Vegetación invasora de Mora
AsaM	Arbustiva seca abierta de Muyojo	Eim	Vegetación invasora mixta
AsaAr	Arbustiva seca abierta de Algarrobo	Gc	Área con Cultivos
AsaC	Arbustiva seca abierta de Chala	Gp	Área con Pastos
AsaP	Arbustiva seca abierta de Palo Verde	Ga	Área con Asociaciones Agrícolas
AscM	Arbustiva seca cerrada de Muyojo	Rr	Lava reciente
AscAr	Arbustiva seca cerrada de Algarrobo	Ra	Lava antigua
AscC	Arbustiva seca cerrada de Chala	Se	Suelos erosionados
AlM	Arbustiva húmeda de Hielco Arbóreo	Sp	Playas
AlCh	Arbustiva húmeda de Chala	Cl	Lagunas
Him	Herbácea litoral mixta: Suculentas y pastos	Ch	Humedales
Hsa	Herbácea seca abierta	Iu	Urbana
Hsc	Herbácea seca cerrada	Ip	Portuaria
Hh	Herbácea húmeda	Ia	Aeroportuaria
Ppd	Vegetación pionera sobre playas y dunas	Io	Otros
Pte	Vegetación pionera sobre tufa y escoria		

CARTOGRAFÍA PLANIMÉTRICA Y TEMÁTICA DE LAS ISLAS GALÁPAGOS

Instituto Espacial Ecuatoriano

FUENTE: IMAGEN SATELITAL SPOT, resolución 5m (año 2005)
 IMAGEN SATELITAL SPOT, resolución 20m (año 1999-2000)
 IMAGEN SATELITAL EROS, resolución 1.8m (año 2006)
 IMAGEN SATELITAL ASTER, resolución 15m (año 2000-2002)
 Curvas de nivel generadas a partir del SRTM (90 m.)
 Misión Topográfica de Radar - Transbordador Espacial
 Información del proyecto SIG-GALÁPAGOS
 Trabajos de campo, febrero - 2006

FECHA:
 JUNIO - 2013

En noviembre de 1997, el sitio de disposición final se traslada a una zona semiárida a 27 Km del centro de Puerto Ayora, en el lado de sotavento de la isla, alejada del centro poblado al otro lado de la línea divisoria de aguas, por lo que los riesgos de contaminación de aguas subterráneas eran menores. En ese sitio se depositaban todos los residuos recolectados en trincheras de 1.5 a 2.0 metros de profundidad, observándose la práctica de incineración de los residuos con presencia de residuos a los dos lados de la vía de acceso (Ltda., 1995) (Fundación Natura).

En el año 1998, USAID, Fundación Natura y Fundación Carvajal desarrollan un proyecto de manejo integral de desechos que introduce el tema de reciclaje de residuos sólidos, a través de un sistema de recolección diferenciada en tres sectores de Puerto Ayora. Los residuos recogidos eran enviados a un centro de acopio, donde eran organizados y enviados al Ecuador continental. Se estima que se reciclaban entre un 5% y un 8% del total de desechos potencialmente reciclables de la isla (0,3 Ton/día) (Fundación Natura).

A finales de los años noventa, el Servicio del Parque Nacional Galápagos, la Fundación Galápagos y el Municipio de Santa Cruz inician el primer esfuerzo formal de reciclaje en la isla. Desde entonces, la Fundación Galápagos ha proporcionado fondos de manera continua para la dotación de personal y administración del centro municipal de reciclaje.

Habiendo trabajado juntos por varios años en temas de conservación en las Islas Galápagos, en el año 2006 WWF y Toyota empezaron a enfocar sus esfuerzos en el área crítica de manejo de desechos. El trabajo dió continuidad a los esfuerzos iniciados por la Municipalidad de Santa Cruz. Hasta la fecha, WWF y Toyota han apoyado en el fortalecimiento del manejo de desechos a través de asesoría técnica, donación de equipos, y una campaña de educación sobre prácticas de reciclaje y consumo responsable, entre otros aspectos. Además, en marzo de 2010, WWF y Toyota produjeron un Plan de Manejo de Desechos para las Islas Galápagos, basados en la experiencia adquirida en la Isla Santa Cruz, en el que se proporciona directrices generales para lograr un sistema integral de manejo de desechos sólidos y reciclaje en todas las islas habitadas de Galápagos usando prácticas y sistemas sostenibles.

Desde el año 2006 en Santa Cruz se realiza una recolección diferenciada con una cobertura cercana al 100%, con un sistema de reciclaje en toda el área servida. En el Centro de Reciclaje Fabricio Valverde se realizan las labores de reciclaje y compostaje, con una eficiencia estimada en el 2008 de 10 m³/día de material reciclado y con un tratamiento de orgánicos de 1 a 2 m³/día. En el 2012, en Santa Cruz se genera 125 toneladas/mes de desechos orgánicos, 75 toneladas/mes de reciclables, y 130 toneladas/mes de no reciclables.

Asimismo, en el año 2008, WWF y Toyota contratan los estudios de Diseños Definitivos del Relleno Sanitario de Santa Cruz⁴³ y la caracterización de los residuos sólidos. Los datos de la caracterización de los residuos se presentan a continuación.

43 En el año 2012 se finalizó la construcción del relleno sanitario, con fondos del Municipio de Santa Cruz, del Banco del Estado y del Parque Nacional Galápagos, entre otros.

1.1 Caracterización de residuos sólidos en la Isla Santa Cruz

Para la caracterización de los residuos sólidos se utilizó una combinación de técnicas de muestreo estadístico. Se calculó inicialmente el tamaño de la muestra utilizando la expresión del Dr. Sakurai. En campo, se utilizó el procedimiento recomendado por las normas mexicanas, esto es, muestras aleatorias con repartición de bolsas plásticas, pesaje de las muestras, método de cuarteo y determinación de peso volumétrico y subproductos. Los resultados obtenidos del muestreo realizado del 18 al 23 de agosto de 2008 se presentan a continuación.⁴⁴

Inicialmente, se realizó la proyección de la población, para determinar el universo de viviendas en la isla, para calcular el número de muestras:

Tabla 21. **Proyección de la población de la Isla Santa Cruz**

	POBLACIÓN 2006	% TC	POBLACIÓN 2008	N° DE VIVIENDAS (URBANAS) 2006
Santa Cruz	11262	0.056	12559	3303
Parroquia Bellavista	1608	0.056	1793	
Parroquia Santa Rosa	446	0.056	497	
Puerto Ayora (urbano)	9208	0.056	10268	
Parroquias rurales	2054	0.056	2291	

Con la aplicación de la fórmula del Dr. Sakurai, para las variables indicadas en la Tabla 22, se calculó el número de muestras en la cabecera parroquial urbana (Puerto Ayora) y en las cabeceras parroquiales rurales (Santa Rosa y Bellavista) y la suma total que representa el número de muestras tomadas en la isla.

Tabla 22. **Estimación del número de muestras**

	N° DE VIVIENDAS (URBANAS) 2006	N° DE MUESTRAS ADOPTADAS	N° MUESTRAS CALCULADAS	E	V
Santa Cruz	3303	160	165		
Puerto Ayora (urbano)		100	93	40	200
Santa Rosa		25	33	60	200
Bellavista		35	39	60	200

Donde: E = error muestral en kg/persona/día.
V = desviación estándar de la muestra.

44 De la Torre, Francisco. 2008. *Caracterización de los Desechos sólidos de las Islas Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela, Galápagos*. Informe Interno WWF.

Para la realización de la muestra en el caso de Puerto Ayora, no se dividió en estratos socioeconómicos, sino solamente en sector domiciliario y comercial. El sector domiciliario fue subdividido a su vez en la parte baja de la ciudad y los barrios ubicados en la parte alta de la ciudad.

A continuación se presenta la información generada de la producción per cápita de tipo doméstica-comercial (PPC) de residuos sólidos, en cuanto a las fuentes principales de generación: zona residencial, zona comercial, zona rural y embarcaciones turísticas con una confiabilidad del muestreo del 90%.

Tabla 23
Valores de PPC obtenidos para la Isla Santa Cruz

DATOS GENERACIÓN	PPC (KG/PERSONA/DÍA)
Zona doméstica parte alta de Puerto Ayora	0,513
Zona doméstica parte baja de Puerto Ayora	0,543
Zona comercial	0,373
Promedio sin reciclaje de las tres zonas	0,476
Reciclaje	0,140
Total Puerto Ayora	0,617
OTRAS FUENTES	
Maleza	0,139
Mercado y camal	0,02
PPC total	0,776

En la Tabla 24 se muestra los resultados de la determinación de la PPC en las parroquias rurales de la isla.

Tabla 24
Valores PPC en parroquias. Isla Santa Cruz

ZONA	PPC (KG/PERSONA/DÍA)
Bellavista	0,471
Santa Rosa	0,283

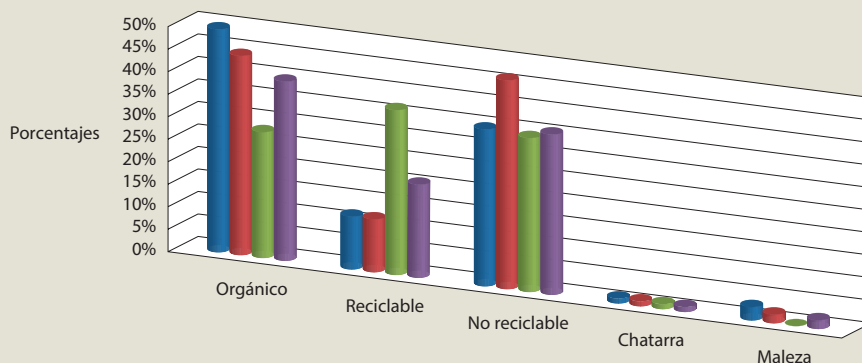
En cuanto a la generación de residuos en embarcaciones (se muestrean ocho embarcaciones de turismo de las 68 que llegan semanalmente) y hoteles se tiene los siguientes resultados:

Tabla 25
PPC sector turístico

SECTOR TURÍSTICO	PPC
Embarcaciones	2,39 (kg/pasajero/día)
Hoteles	0,47 (kg/cama/día)

En cuanto a la clasificación de subproductos realizada en la parroquia urbana, se tiene los siguientes resultados, mismos que han sido agrupados por tipología de materiales.

Gráfico 40
Subproductos de la ciudad de Puerto Ayora, Isla Santa Cruz



	ORGÁNICO	RECICLABLE	NO RECICLABLE	CHATARRA	MALEZA
Zona alta	49%	12%	35%	1%	3%
Zona media	44%	12%	42%	1%	1%
Zona comercial	28%	37%	34%	1%	0%
Promedio	40%	21%	36%	1%	2%

1.2 Almacenamiento temporal de residuos en la Isla Santa Cruz

En el año 2007, el Municipio de Santa Cruz en cooperación con WWF implementó un sistema integral de gestión de residuos con separación en la fuente y recolección diferenciada. Para ello, se aprobó una ordenanza municipal que estableció la siguiente modalidad de almacenamiento temporal de los residuos sólidos.

“ORDENANZA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS Y RESIDUOS EN EL CANTÓN SANTA CRUZ”

CAPÍTULO II. CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS:

Art. 12.- Para efectos de la implementación de la presente ordenanza los desechos tendrán la siguiente clasificación, la misma que podrá ser modificada dependiendo de las posibilidades técnicas de tratamiento disponibles.

1. DESECHOS ORGÁNICOS:

- a. Restos de comida, como cáscaras de frutas, verduras, sobras de comida
- b. Restos de plantas, como desechos de jardinería
- c. Restos de madera: Maderas de construcción, aserrín, viruta, restos de embalajes

2. MATERIALES RECICLABLES:

- b. Papel: Papel de oficinas, papel periódico, revistas, cartulinas, cuadernos y libros
- c. Cartón: Cajas de cartón para embalar, empaques de productos
- d. Plásticos: Envases de bebidas gaseosas, agua y refrescos; jabs de bebidas alcohólicas y no alcohólicas; utensilios de cocina limpios, muebles, otros; bolsas plásticas, baldes, juguetes, tubos de PVC; cubetas, cuerdas plásticas, y otros tipos de plásticos
- e. Vidrio: Envases de cervezas, envases de refrescos, frascos de mermeladas, salsas o conservas limpios

3. OTROS MATERIALES:

- a. Metales
- b. Ropa y trapos
- c. Artículos de espuma

4. DESECHOS TÓXICOS Y PELIGROSOS:

- a. Plásticos y baterías
- b. Aceites usados
- c. Desechos hospitalarios
- d. Otros desechos tóxicos
- e. Artículos de goma y hule
- f. Artículos explosivos

5. CHATARRA Y DESECHOS VOLUMINOSOS:

- a. Metales
- b. Electrodomésticos
- c. Equipos de computación
- d. Automotores, repuestos y partes

6. MATERIAL DE ESCOMBROS:

- a. Materiales pétreos
- b. Cerámicos, etc.

CAPÍTULO III. DE LOS RECIPIENTES, TIPOS Y UTILIZACIÓN

Art. 13.- *Los recipientes que serán utilizados para la recolección de desechos son los siguientes:*

1. **Recipiente plástico color verde:** *Para desechos orgánicos los que deberán ser entregados al vehículo recolector destinado para este material en el horario correspondiente y sin ningún tipo de material plástico, metálico o restos que no sean biodegradables.*

2. **Recipiente plástico color azul:** Para materiales reciclables como cartón, plástico, vidrio, papel y otros materiales; serán depositados sin restos orgánicos.
3. **Recipiente plástico color negro:** Para otros desechos, que deberán ser depositados en el recipiente negro como: desechos de baño, pañales, toallas sanitarias, envolturas de golosinas (papel chillón) y entregados al vehículo recolector sin restos orgánicos, tóxicos o reciclables.
4. **Recipiente plástico color rojo: Desechos tóxicos y peligrosos.-** Los desechos hospitalarios, tóxicos y peligrosos deberán ser entregados al vehículo recolector en bolsas de color rojo, y completamente estabilizados o neutralizados.

Art. 14.- Los recipientes y bolsas deberán ser sacados a la vía pública en los horarios establecidos y difundidos por el Gobierno Municipal de Santa Cruz.

En la Isla Santa Cruz se implementó el sistema de almacenamiento con la utilización de tres recipientes por vivienda, conforme el código de colores señalado.

1.3 Recolección de residuos en la Isla Santa Cruz

La recolección en Santa Cruz es de tipo diferenciado. Se ha establecido frecuencias y horarios para la recolección de desechos sólidos por sectores de la ciudad y por tipos de desechos (reciclables, no reciclables y orgánicos).

Para el efecto, cuenta con dos recolectores modelos 1992 y 2004, de 190 y 175 HP, respectivamente; un recolector de 260 HP; dos camiones de 115 HP y una camioneta.

Un contratista privado efectúa la recolección de basura en 36 embarcaciones que acoderan en Bahía Academia, así como también en 16 residencias del sector de Punta Estrada, sector aledaño a Puerto Ayora. Para la recolección y transporte de chatarra y maleza, la municipalidad programa viajes de los camiones que dispone.⁴⁵

Las frecuencias del servicio son:

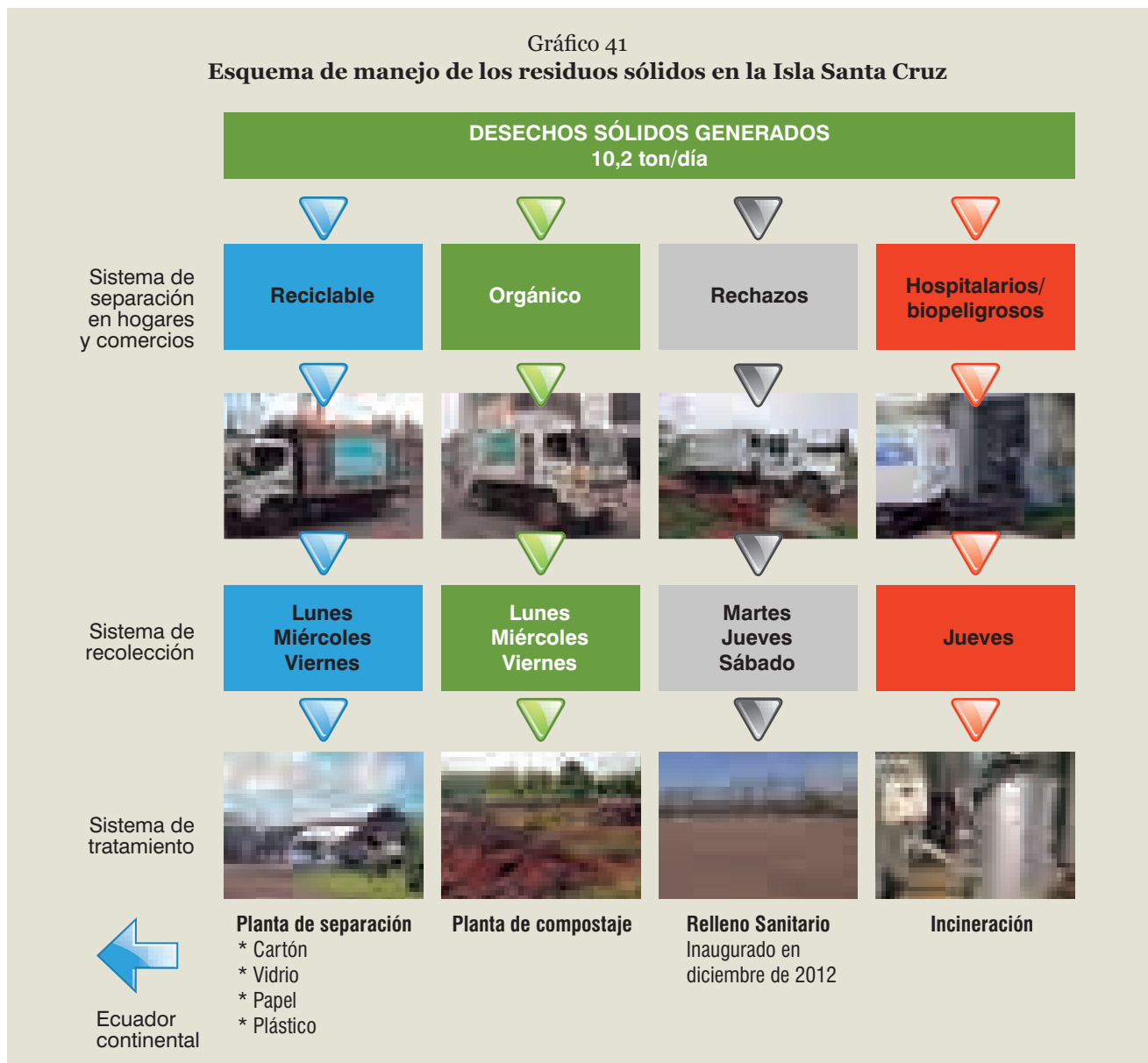
- Lunes, miércoles y viernes se recolecta y transporta los residuos orgánicos y reciclables
- Martes, jueves y sábado se recolecta desechos no reciclables (en la zona comercial, de lunes a sábado)
- Martes, jueves y sábado se recolecta malezas
- Jueves se recolecta desechos hospitalarios y peligrosos
- Sábado se recolecta chatarra y llantas

La cobertura de recolección en base al total generado es de un 95%.

⁴⁵ Carbonell Yonfá, Yolanda; Carlos Falconí G. Junio 2010. *Formulación de tasas para el servicio de gestión integral de residuos y reciclaje de Santa Cruz, provincia de Galápagos.* Informe Interno WWF.

El monitoreo y el control de la recolección diferenciada en Santa Cruz se realiza a través de un sistema de radios digitales que están montados en las cabinas de los diferentes vehículos. Estos dispositivos están equipados con GPS. La señal del GPS se envía cada 10 segundos a la radio base. La ubicación/track de los vehículos se muestra en un mapa digital de Santa Cruz.

Un esquema que resume el sistema de Santa Cruz, se muestra en el Gráfico 41.



Un esquema de los recorridos que realizan los vehículos de recolección y la ubicación del actual botadero de basura en el Km 27 se muestra en los Gráficos 42, 43 y 44.

Gráfico 42
Recorrido de vehículo recolector de rechazos hasta disposición final



Gráfico 43
Microrruta de recolección de orgánicos y reciclables

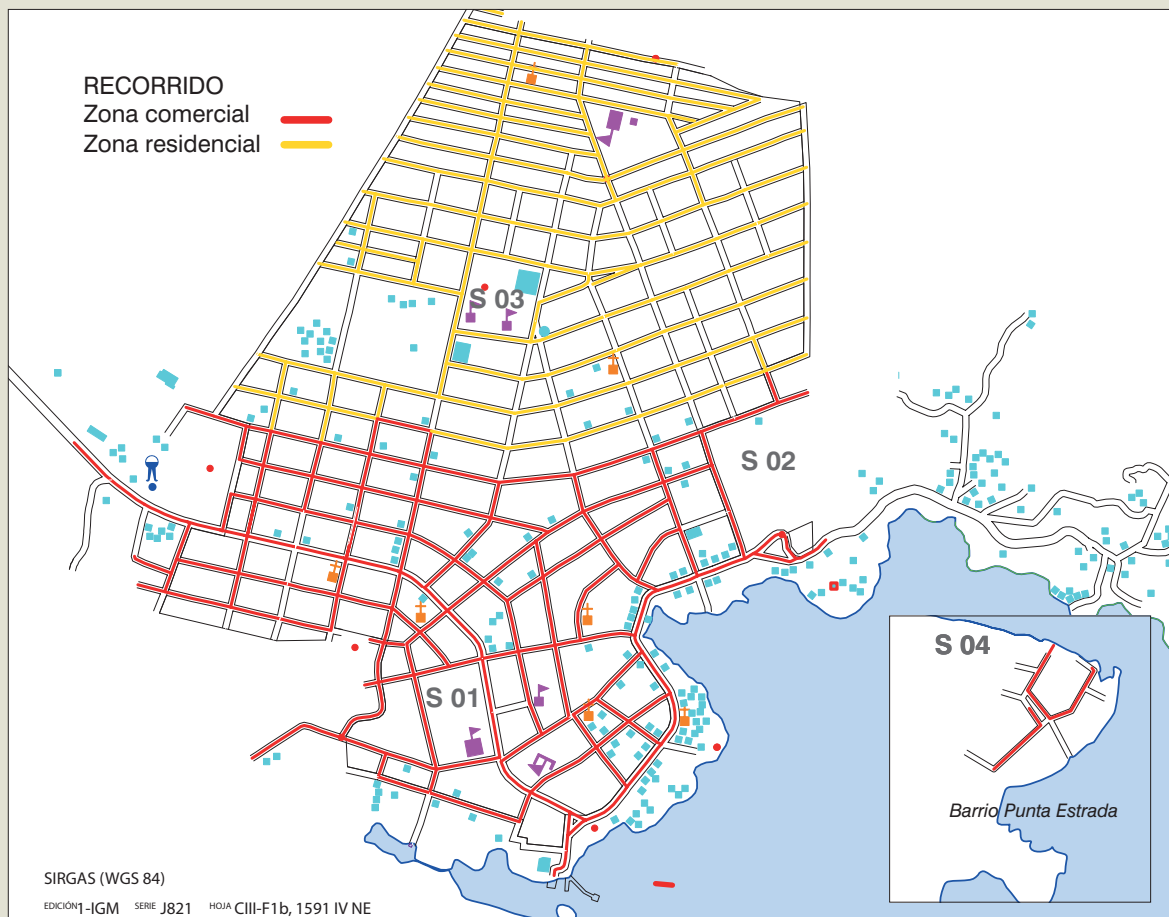
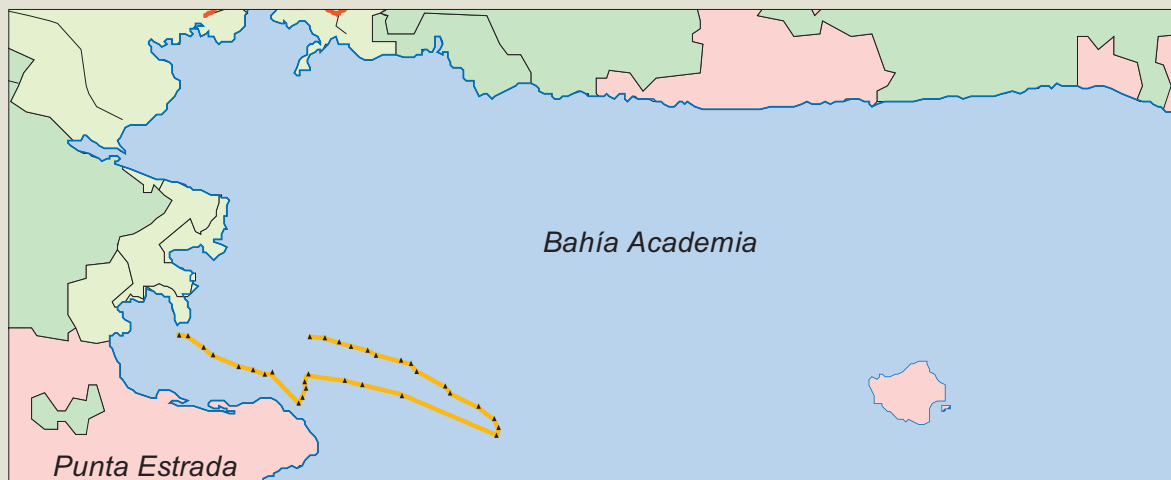


Gráfico 44
Recorrido de recolección de residuos de embarcaciones en Bahía Academia



Adicionalmente, se debe mencionar que una iniciativa privada con auspicio de la municipalidad recolecta los aceites y lubricantes usados para su posterior traslado hacia el Ecuador continental.

1.4 Barrido en la Isla Santa Cruz

En Puerto Ayora se tiene los siguientes kilometrajes de vías:⁴⁶

Vías pavimentadas:	7,47 Km
Vías adoquinadas:	12,71 Km
Vías de tierra:	20,80 Km

Existe un total de 40,98 Km. Las vías aptas para barrer tienen un kilometraje de 20,18 Km y una cobertura del 100%, con un grado de aseo del tipo B, esto es, solo se observa moderada cantidad de polvo.

Se utilizan siete sectores con una cuadrilla de un jornalero, con la asignación de vías y sectores a cumplir. El supervisor asigna al jornalero una vía que tiene la responsabilidad de mantener limpia. Dependiendo de la cantidad de residuos de barrido, el jornalero realiza repasos en la misma zona para mantener la limpieza del sector. Por lo descrito, los rendimientos son de aproximadamente 500 m/persona*día. Los rendimientos son menores que el estándar descrito antes (2,5 km/persona*día) por la cantidad de polvo que se acumula en las calles de Puerto Ayora, por el clima árido y la cobertura de las calles con adoquines que dificulta el barrido.

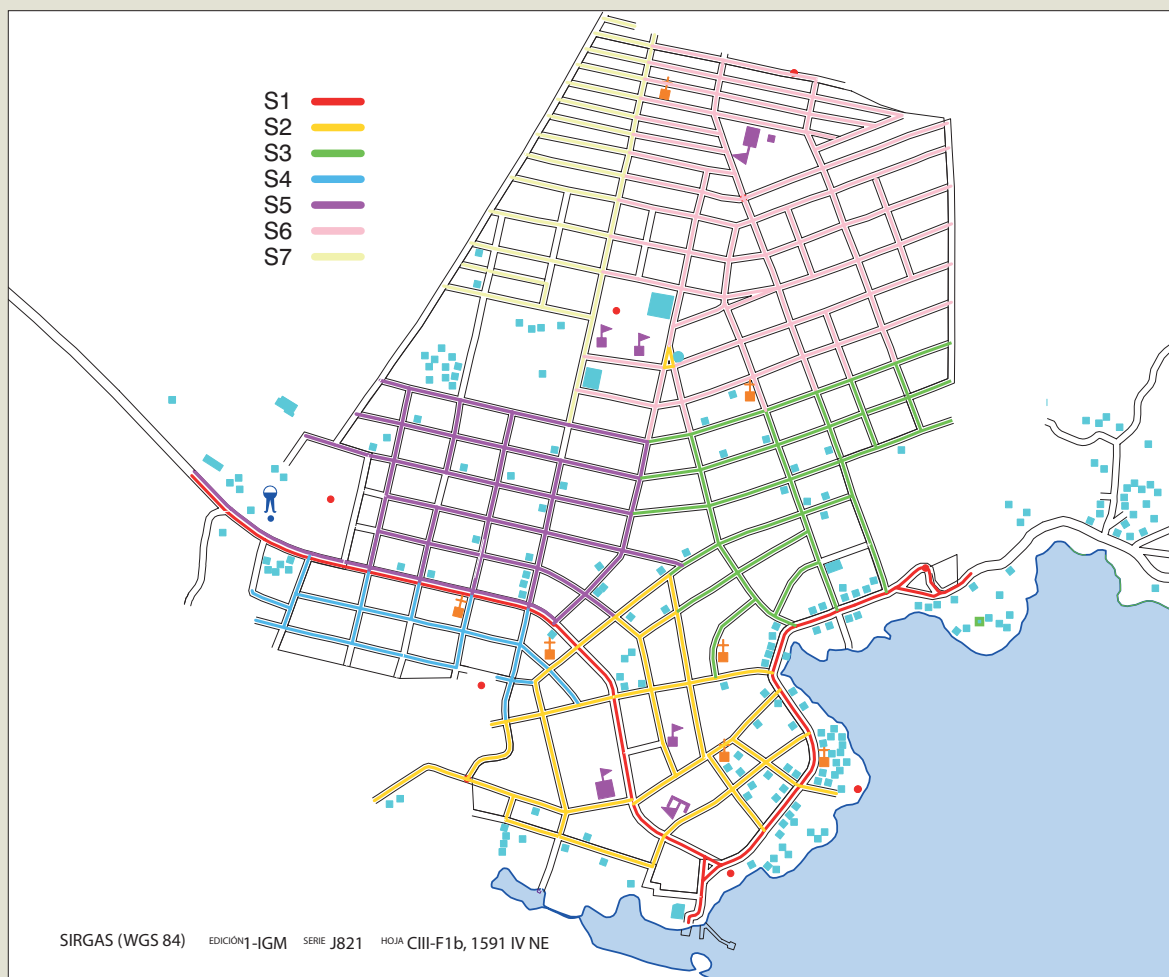
46 Carbonell Yonfá, Yolanda; Carlos Falconí G. Junio 2010. *Formulación de tasas para el servicio de gestión integral de residuos y reciclaje de Santa Cruz, provincia de Galápagos*. Informe interno WWF.

Si bien el promedio a barrer por cada jornalero sería de 2,88 Km, la ruta es servida de manera integral en avances parciales de 500 m. Es decir que al día siguiente comienza desde donde terminó el día previo, hasta completar la asignación y nuevamente vuelve a comenzar. Los sitios conflictivos o de mayor generación de residuos son atendidos diariamente con repasos incluidos.

De los recorridos realizados se constató el grado de limpieza de las calles, así como una actitud positiva de la ciudadanía respecto a la limpieza de las calles. Al consultarles al respecto, manifiestan que evitan arrojar desperdicios a las calles, e incluso llaman la atención a turistas que lo hacen. Esta situación favorece al mantenimiento de las vías con un buen grado de aseo.

Un esquema de los sectores de barrido de Puerto Ayora se muestra en el Gráfico 45.

Gráfico 45
Plano de rutas de barrido de Puerto Ayora, Isla Santa Cruz



1.5 Parque Ambiental Fabricio Valverde

Inicialmente en los años noventa, se realizó un primer esfuerzo formal de reciclaje en la Isla Santa Cruz, con el apoyo del Servicio del Parque Nacional Galápagos, la Fundación Galápagos y el Municipio de Santa Cruz. Desde entonces, la Fundación Galápagos ha proporcionado fondos de manera continua para la dotación del personal que opera el centro municipal de reciclaje (WWF, 2010).

Entre los años 2003 y 2006, con fondos de la Unión Europea (Programa URB-AL), el municipio construyó una planta de reciclaje y un área de compostaje, denominada Parque Ambiental Fabricio Valverde (PAFV). El municipio adquirió un camión compactador y contrató a un consultor para la Municipalidad de Santa Cruz para coordinar el lanzamiento y ejecución del proyecto de reciclaje.

El PAFV, establecido por la cooperación interinstitucional antes mencionada y a la cual se ha sumado la contribución de otros donantes (entre los que se encuentran WWF y Toyota), está compuesto por las siguientes unidades:⁴⁷

- Centro de información, donde existe material educativo referente a las acciones de reciclaje que se realizan en el PAFV
- Banda transportadora para la clasificación de los materiales reciclables
- Máquinas trituradoras de vidrio y plástico
- Compactadoras de cartón, chatarra
- Incinerador para desechos hospitalarios y biopeligrosos
- Máquina que uniformiza el material orgánico previo a su compostaje al aire libre
- Galpón para la compactación de chatarra
- Báscula camionera

1.5.1 Área de reciclaje

En cuanto a la composición y cantidad de materiales reciclados se muestran los gráficos 46 y 47, elaborados por el estudio de formulación de tasas para el servicio en junio del 2010.

Cabe mencionar que gracias a las campañas educativas que se ha implementado, hay un aumento en la participación de la ciudadanía en la separación de los desechos, observándose el incremento del material reciclado en el Parque Ambiental Fabricio Valverde (PAFV). Así, por ejemplo, hasta diciembre de 2006 el peso de materiales reciclados aumentó en un 140% (de 12 ton/mes a 16.8 ton/mes). Para diciembre de 2007, dicho indicador evolucionó a un significativo 226% (27.1 ton/mes) y en diciembre de 2008 y de 2009, aumentó al 312% y al 325% respectivamente (37.4 ton/mes y 39 ton/mes). A marzo de 2010, el crecimiento porcentual del peso de materiales reciclados se situaba en el 374% (45 ton/mes). El Gráfico 48 refleja la tendencia anotada.

⁴⁷ Carbonell Yonfá, Econ. Yolanda.; Carlos Falconí G. Junio 2010. *Formulación de tasas para el servicio de gestión integral de residuos y reciclaje de Santa Cruz, provincia de Galápagos*. Informe interno WWF.

Gráfico 46
Composición del material reciclado en el PAFV. 2009

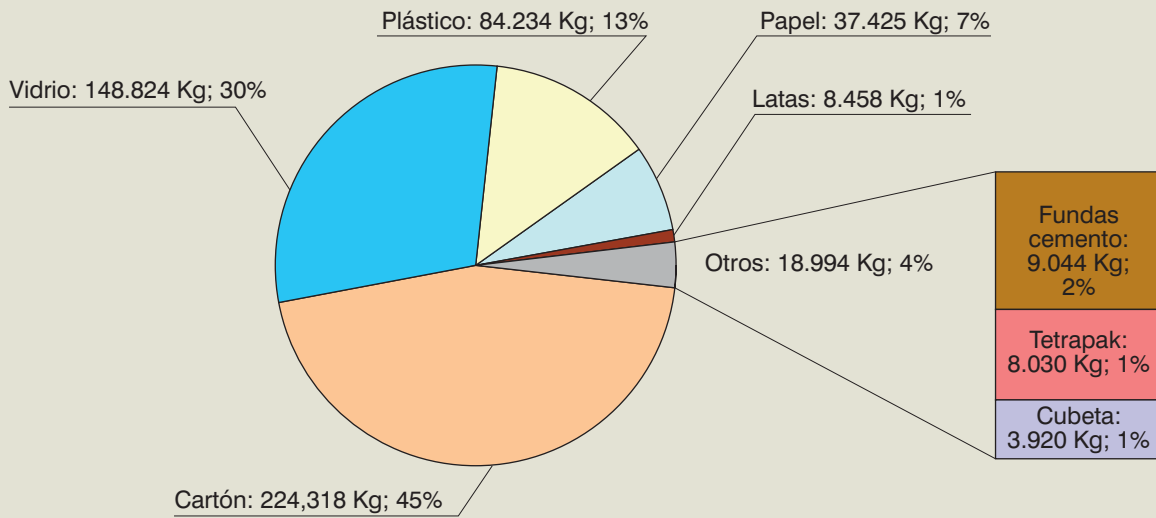


Gráfico 47
Pesos y porcentajes de material reciclado en el PAFV. 2010

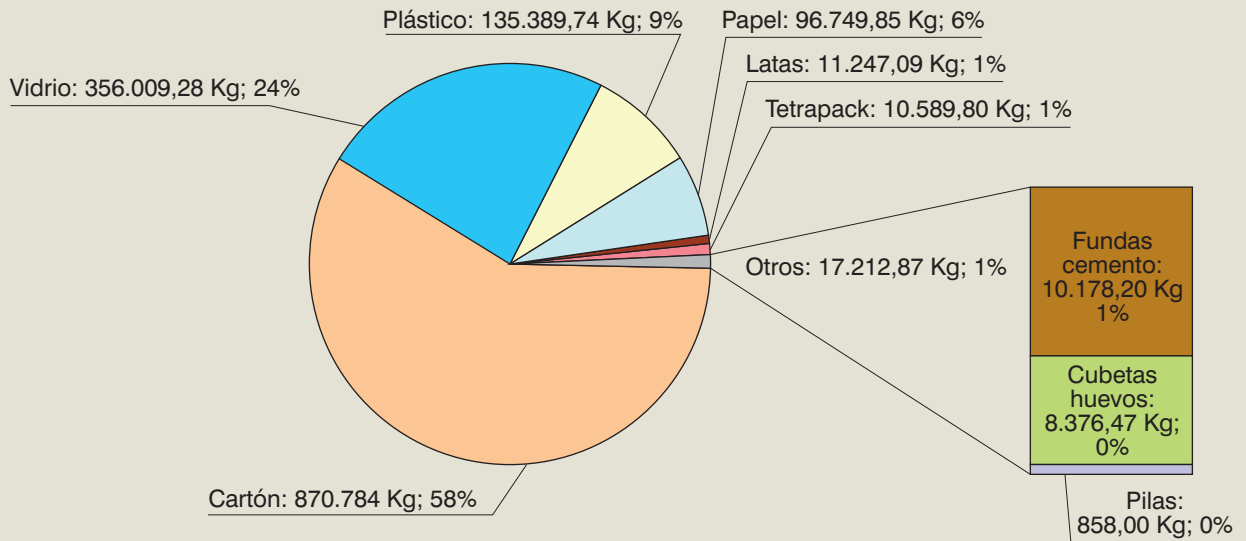
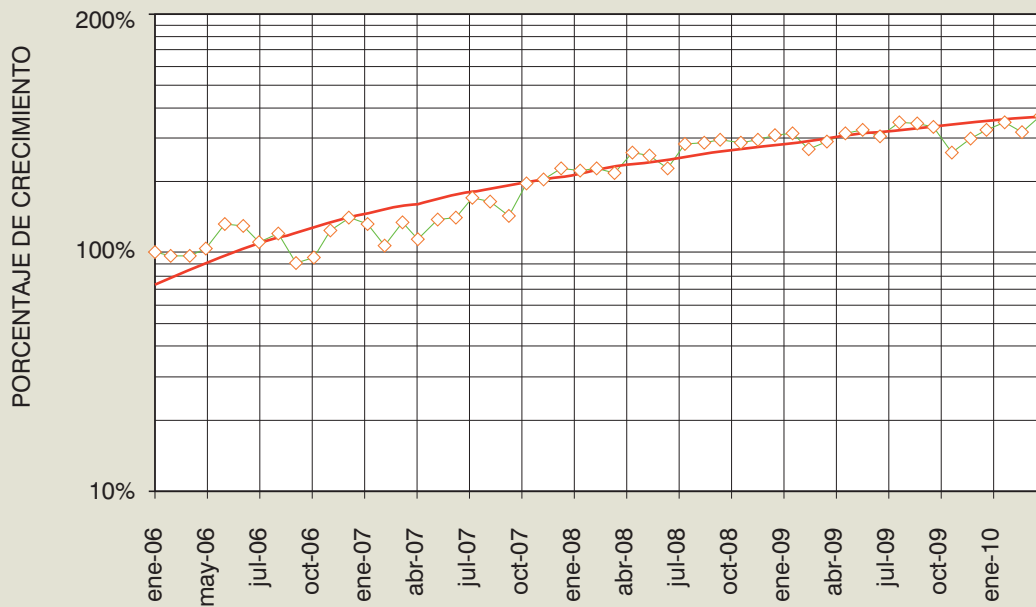


Gráfico 48
Crecimiento porcentual del material reciclado en el PAFV



Fuente: Formulario de tasas para el servicio de gestión integral de residuos y reciclaje de Santa Cruz, provincia de Galápagos. Producto 1. Econ. Yolanda Carbonell Yonfá. Ing. Carlos Falconí G. WWF. Junio 2010.

Todos los residuos separados son preparados y embalados para su retorno al continente, a empresas recicladoras de los diferentes materiales.

1.5.2 Área de compostaje

El compostaje en Santa Cruz es de muy alta importancia dado que la transformación total de todos los residuos orgánicos en compost solamente deja residuos no-reciclables/rechazos con muy poca humedad para su disposición final en el relleno. Por lo tanto, en la disposición final existe una mínima generación de gases y lixiviados, lo que facilita su manejo.

Como particularidad, la planta de compostaje de Santa Cruz cuenta con una máquina compostera mecánica importada de los Estados Unidos y donada por WWF y Toyota al Municipio de Santa Cruz en el año 2008. La máquina tiene una picadora helicoidal que mezcla los residuos orgánicos (mezcla de restos de vegetales y aserrín) para garantizar una mezcla consistente. Además, tiene un tanque de acero redondo de aproximadamente 5 metros de longitud y 2 metros de diámetro que se sostiene en dos bases. El tanque está propulsado por cuatro motores eléctricos con una potencia de 0.3 kW cada uno y gira con una velocidad de aproximadamente cuatro revoluciones por hora.

Actualmente, la Municipalidad de Santa Cruz y WWF han incorporado un proceso de compostaje de los desechos orgánicos que llegan en los camiones

recolectores destinados para el efecto, que descargan en la plataforma contigua a la máquina compostera mecánica, para luego realizar una separación manual de los desechos que llegan en bolsas plásticas. Luego, la basura orgánica se distribuye uniformemente en el piso y se mezcla con aserrín.

Esta combinación se ingresa a la compostera mecánica que desmenuza la basura y la homogeneiza con el aserrín. Después de una semana, los desechos orgánicos fermentados se disponen en pilas en el terreno adyacente, para su maduración en un período de seis meses en que está listo para su cernido y envasado. El material es utilizado como abono en las áreas verdes municipales; y también es solicitado por establecimientos educativos y otros.

La máquina compostera mecánica provoca en los residuos orgánicos que entran un proceso acelerado de pre-compostaje. Dentro del tanque, el material fresco entra en contacto inmediato con el material orgánico en estado de compostaje y se infecta inmediatamente con los microorganismos que provocan su descomposición. El tanque mantiene el material en aireación pero encerrado, lo que provoca un calor ideal para el crecimiento de los microorganismos de descomposición.

Para el contexto de Galápagos y de islas en general, la máquina compostera mecánica presenta la importante ventaja de que mantiene los residuos orgánicos encerrados y no permite que el material entre en contacto con aves o roedores que podrían divulgar semillas de especies invasoras. Una de las amenazas principales de los ecosistemas terrestres de Galápagos son especies que se han traído del Ecuador continental (como comida o semillas para la agricultura), que se han propagado en el ambiente insular por la falta de competencia ecológica y que compiten con las especies endémicas altamente vulnerables.

El área destinada al compostaje en el PAFV es de 4.414 m². Incluye las secciones de la compostera mecánica y aquellas para la maduración del compost homogeneizado, lo que significa aproximadamente, las dos terceras partes de dicha área (2.943 m²).

Las pilas de compost tienen un ancho de 2 metros y una altura inicial de 1,50 metros. La longitud de las pilas es de aproximadamente 30 metros y el volteo se hace con la ayuda de una minicargadora.

1.6 Disposición final de los residuos

Como en muchas islas pequeñas del mundo, el principal problema con la cantidad de basura que se genera a diario es la falta de espacio a largo plazo para su disposición final. Otro problema adicional es la dificultad de la ubicación del sitio.

Como se explicó en el Capítulo 7, el sitio para la disposición final tiene que cumplir ciertas características para ser elegido. En Santa Cruz, el área poblada no es apta para la disposición final debido a su cercanía a los centros poblados. Además, se encuentra en el Sur de la isla donde hay mayor pluviosidad, lo que representa un peligro para los recursos de agua dulce de la isla y una mayor

generación de lixiviados. El resto del área de Santa Cruz es área protegida y no es accesible sino a los dos lados de la carretera que cruza la isla de Sur a Norte.

En 1998, el Municipio de Santa Cruz llegó a un acuerdo con el Parque Nacional Galápagos para ubicar el botadero en la parte Norte de Santa Cruz, a 200 metros de la carretera y a 27 km del centro más poblado. La ubicación del sitio tiene varias ventajas porque el Norte de Santa Cruz es un área con características áridas, donde no hay cuerpos de agua, dispone de material de cobertura y está lejos de los centros poblados. Bajo este acuerdo, el Parque Nacional Galápagos entregó al Municipio de Santa Cruz un área de 10 ha para la disposición final de los desechos.

Este sitio se manejó como botadero a cielo abierto para recibir todos los desechos que se generaban diariamente. Para reducir el volumen de los desechos y darle un mantenimiento básico al botadero, se excavaron zanjas de 3 metros de profundidad, 30 metros de largo y 4 metros de ancho para depositar finalmente los desechos recolectados. Además, los desechos se quemaban a cielo abierto. Cuando la zanja se llenaba, se la tapaba con el mismo material del sitio y se excavaba al lado una nueva zanja. Con el tiempo se creó una plataforma de 3 ha en el botadero.

En el año 2008, el Municipio de Santa Cruz en cooperación con WWF decidió parar la quema de la basura y la disposición final a cielo abierto y empezar con los pasos necesarios para construir un relleno sanitario. En ese mismo año, WWF elaboró los diseños definitivos para la construcción del relleno sanitario de Santa Cruz.

Al aplicar la metodología para determinar la ubicación de un relleno sanitario resultó que la mejor área en la isla era una zona en la parte Norte de Santa Cruz, ubicada entre los kilómetros 25 y 35 y en forma de corredor de 2 km de ancho a lo largo de la ruta entre Puerto Ayora y el Canal de Itabaca.

En base a la generación actual de desechos, se hizo un pronóstico de 20 años de vida útil del relleno sanitario y se determinó que se requería un área de 3 ha.

Como el botadero se encuentra en el corredor identificado y dispone de una plataforma de 3 ha, se decidió construir el relleno sanitario en este sitio, evitando de esta manera que se afectara más área protegida.

Tabla 26
Características meteorológicas del sitio de construcción del relleno sanitario de la Isla Santa Cruz

CONDICIONES METEOROLÓGICAS	VALORES
Pluviosidad	Media anual 475 mm
Temperatura	Media anual 25.64° C
Humedad	Media anual 87.06%
Evaporación	97.20 mm

Fuente: INAMHI

1.6.1 Características del relleno sanitario de la Isla Santa Cruz

a) Sistema de impermeabilización, drenaje y tratamiento de lixiviados

Para evitar la acción física, química y bacteriológica de los contaminantes contenidos en los lixiviados, se prevé la impermeabilización del fondo del relleno sanitario mediante el uso de dos capas de protección. La primera consta de una capa de arcilla de 20 centímetros; y, la segunda, será geomembrana de HPDE de 1.0 mm de espesor. El uso de la geomembrana se considera adecuado como protección adicional y por ser una recomendación de los estudios geológicos realizados en el sitio. Sobre esto se colocará una capa de 10 centímetros de arena o grava del sector. Sobre la capa de arena en las plataformas conformadas se instalarán los drenajes para captar los lixiviados. El sistema de drenaje constará del filtro -conformado por piedra o grava- y de los conductos conformados por tuberías de PVC. El filtro es esencial para mantener la eficiencia del drenaje y para impedir taponamientos de los ductos.

Para el tratamiento de lixiviados se ha previsto un sistema de decantación primario, consistente de un tanque de sedimentación de doble cámara y de un filtro anaerobio granular de flujo ascendente. Para la disposición del efluente se contará con un lecho de fitodepuración (sistema de filtro y pantanal artificial) para lograr el efecto de pulimento para bajar la carga orgánica.

b) Conformación de celdas diarias

Para el diseño de la celda diaria se consideró la generación promedio de 21,38 Ton/día en 15 años y una densidad esperada en el relleno de 800 kg./m³. Esta es una densidad aceptable para un relleno sanitario donde existe un proceso previo de clasificación y reciclaje y que no exige un alto control del proceso de compactación. Con estas consideraciones el volumen a disponer al día es de 26.73 m³.

Las celdas diarias se han diseñado en base a una celda tipo que está concebida para que permita la cómoda descarga de los equipos de recolección, por lo que tiene un frente de trabajo de 2.50 m. La altura de la celda diaria será de 1 metro para permitir una fácil distribución de los residuos sólidos diarios y una fácil compactación, asegurando que habrá pocos asentamientos. En consecuencia, el avance al día será de 10.69 m.

Tabla 27
Características de la celda diaria

CELDA DE RELLENO		
Densidad en relleno	Kg/m ³	800.00
Volumen día de relleno	m ³	21.38
Ancho	m	2.50
Alto	m	1.00
Largo	m	10.69

c) Chimeneas de captación de gases

Para la captación de gases generados en el relleno se ha previsto la construcción de chimeneas con una boquilla que permita la quema de los gases generados.

d) Sistema de drenaje de aguas lluvias

Alrededor del área de operación del relleno se ha previsto la ubicación de una serie de cunetas para interceptar las aguas lluvias para evitar que estas ingresen al relleno aumentando el caudal de lixiviados.

e) Cerramiento

Se construirá un cerramiento perimetral con postes de madera y 5 filas de alambre de púas galvanizado, junto a las cuales se sembrará una cerca viva, y una puerta de malla para acceso peatonal y vehicular.

f) Caseta de control y bodega

Servirá para controlar el ingreso de personal y vehículos. Además contará con facilidades para el personal, con baño y bodega para almacenar herramientas menores.

g) Tratamiento de aguas servidas de las casetas de guardianía y control

Estará constituido de una red interna de alcantarillado para el manejo de aguas servidas generadas en las diferentes unidades que permitirá descargar directamente en el sistema de tratamiento de líquidos lixiviados. La longitud aproximada de la red será de 20 m. Además, contará con un sistema de tratamiento de líquidos lixiviados constituido por fosa séptica, filtro biológico y descarga.

h) Costos

El costo de recolección por tonelada alcanza US\$ 36,68 y el de disposición final es de US\$ 8,37, siendo el costo mensual por vivienda sostenible de US\$ 5,05.

i) Equipo y maquinaria para la operación

Para la operación del relleno sanitario se ha previsto contar con una minicargadora con un rodillo vibrador que permita la compactación de los residuos y la capa de cobertura para alcanzar los 800 kg/m³. Adicionalmente, se requiere como equipo de apoyo una volqueta y, por períodos cortos, se utilizará equipo de apoyo para preparar material de cobertura y una retroexcavadora sobre ruedas.

La construcción del relleno sanitario de la Isla Santa Cruz se inició en noviembre de 2011 y se completó en diciembre de 2012.



© WWF / Maximilian Martin

1.7 Campaña de educación sobre prácticas de reciclaje en la Isla Santa Cruz

Desde el 2006 al 2012, WWF y Toyota ampliaron continuamente su alcance de trabajo y profundizaron su experticia en el campo de la gestión ambiental en Galápagos con el fin de disminuir la huella humana en las islas. Para enfrentar las tendencias negativas que han ocurrido durante las últimas dos décadas, tales como un incremento exponencial del consumo energético y una contaminación lenta alrededor de los asentamientos humanos en las islas entre otros, WWF y Toyota identificaron un elemento clave de altísima importancia para impulsar un cambio hacia un futuro sostenible: fortalecer la capacidad humana para aplicar el reciclaje y una manera sostenible de vivir en las islas. Como consecuencia educación y concienciación se convirtieron en una de las prioridades de la misión de WWF y Toyota en Galápagos complementando los esfuerzos en la implementación de un sistema integral de manejo de desechos y reciclaje en todas las islas habitadas del archipiélago.

Desde el 2006, WWF y Toyota han colaborado con el Municipio de Santa Cruz para crear e implementar un sistema integral de manejo de desechos y reciclaje en la isla más poblada de Galápagos. WWF, con fondos de Toyota, está apoyando al Municipio de Santa Cruz con asistencia técnica continua y equipamiento con tecnología de punta. Adicionalmente, WWF implementó en cooperación con el Departamento Ambiental del Municipio una campaña de educación sobre mejores prácticas de reciclaje y consumo responsable en la comunidad local.

La campaña de educación ambiental empezó en el febrero de 2007 y se enfocó en diferentes grupos meta y audiencias objetivo. Como parte de la campaña se realizaron visitas de capacitación a más del 90% de los hogares en la Isla Santa Cruz. También la campaña se ha dirigido con éxito a los sectores comercial y turístico, incluyendo a la mayoría de los barcos de turismo y a todas las instituciones públicas de la Isla Santa Cruz. Se puso especial énfasis en el sector educativo porque los jóvenes son clave para alcanzar un futuro sostenible de las Islas Galápagos.

Como parte de la campaña se realizaron sesiones de capacitación dirigidas a alumnos y profesores de las escuelas y colegios de las zonas urbanas y rurales de la isla. Además se ha organizado visitas al Parque Ambiental Fabricio Valverde para enseñarles por qué la separación de los desechos y el reciclaje son tan importantes para un Galápagos sostenible.

Uno de los factores principales para el éxito alcanzado por esta campaña ha sido el enfoque en el individuo que se refleja en el slogan principal de la campaña –“Yo reciclo... ¿Y tú?”– que se comunica hacia la comunidad a través de materiales informativos como camisetas, calendarios, pulseras, trípticos, etc. en diversos eventos. Además se ha promocionado continuamente la campaña a través de spots de radio y televisión y de concursos con amplia participación local. Otro factor que ha influido para que la comunidad local participe en la campaña es que ésta ha sido continua y se ha mantenido por varios años consecutivos, lo que ha permitido que los mensajes y la percepción positiva hacia el reciclaje se internalicen en la memoria colectiva. La campaña sobre

prácticas de reciclaje es un elemento clave del sistema de reciclaje, pues gracias a ella, la separación de los desechos se incrementa, hay un consumo más responsable y, a futuro, se espera que se minimice la generación de desechos.

En el año 2012, se recicló cerca del 50% del total de los desechos generados en la Isla Santa Cruz. En el futuro cercano, para replicar este excelente resultado WWF y Toyota están ampliando gradualmente la campaña de reciclaje a las Islas Floreana e Isabela. La misión de WWF es que ningún desecho se quede en Galápagos en el futuro.

El Proyecto de Manejo de Desechos y Reciclaje de Santa Cruz ha obtenido dos importantes premios como resultado del trabajo conjunto de WWF, Toyota y el Municipio de Santa Cruz:

- En el año 2010, el proyecto ganó el premio Energy Globe en la categoría de Campeón Nacional, compitiendo con más de 800 proyectos de 105 países. El concurso es auspiciado por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y es uno de los premios medioambientales más importantes y prestigiosos del mundo, cuyo objetivo es dar a conocer proyectos sostenibles exitosos a un público amplio, para mostrar que muchos de los problemas ambientales que enfrentamos ya tienen soluciones buenas y factibles.
- En el año 2011, el proyecto obtuvo el primer lugar en la categoría de Mejores Prácticas de Gestión Ambiental en la cuarta edición del Premio a las Mejores Prácticas en la Administración Pública. El concurso fue organizado por la Asociación de Municipalidades del Ecuador, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, la Agencia Alemana de Cooperación Técnica, y la Agencia Española de Cooperación Internacional. El premio reconoce que el sistema de manejo de desechos y reciclaje de Santa Cruz es actualmente el mejor de su tipo en el Ecuador y que es un ejemplo de eficiencia y calidad para el manejo de desechos en islas.

1.8 Lecciones aprendidas en la Isla Santa Cruz

- a) Asegurar la conservación a largo plazo de las Islas Galápagos será posible solo si se involucra a la población local, creando la voluntad política y el compromiso de los tomadores de decisiones y partes interesadas, y paralelamente educando e involucrando a la comunidad.
- b) Es de suma importancia desarrollar conocimientos, experticia y capacidades a nivel local. Esto se logra brindando asistencia técnica permanente y capacitación continua a técnicos locales a través de la integración temporal de expertos en las instituciones locales para influir en la toma de decisiones a favor del ambiente de las instituciones y para asegurar el sostenibilidad a largo plazo del proyecto.
- c) El éxito se mide durante un período de años, y en incrementos.
- d) Existe la necesidad de educación comunitaria continua, puesto que el concepto de clasificación de desechos es muy nuevo y la población sigue creciendo.

1.8.1 Sostenibilidad

Los objetivos y acciones de este programa de manejo de desechos en islas están basados en principios y estrategias probados y comúnmente aceptados de manejo sostenible de desechos. Usando éstos, nuestro objetivo es poner en práctica un sistema integrado de reciclaje y manejo de desechos para el año 2020, que permitirá mejorar la calidad de vida en todas las islas habitadas y al mismo tiempo vivir dentro de la capacidad de carga definida para los ecosistemas insulares.

Nuestro concepto de un sistema sostenible de reciclaje y manejo de desechos en las Islas Galápagos está basado en las estrategias y principios que se mencionan a continuación.

- **Minimización de desechos.** La minimización de desechos es un proceso y una política de reducir la cantidad de desechos producida por una persona o sociedad, y es la base de cualquier sistema sostenible de manejo de desechos. La minimización de desechos apunta a reducir la generación de desechos a través de educación y de mejorar los patrones de consumo. Este enfoque es el método más económico, ambientalmente amigable y sostenible de manejo de desechos, pero también representa el reto más difícil. Requiere cambios en los patrones locales de consumo, paradigmas y comportamientos de la población y de los tomadores de decisiones así como de compromiso y voluntad política. Esto solamente se puede lograr a través de campañas de educación de largo plazo y fortalecimiento institucional que pueden combinarse con una cultura de higiene, salud pública y calidad de vida.
- **Reutilización.** La reutilización puede definirse como la recuperación del valor de un objeto desechado, sin reprocesarlo completamente. Esto significa que un objeto es reutilizado en su capacidad/función original (o similar) pero también puede incluir su uso para otro propósito. Por ejemplo: pedazos de materiales de construcción pueden reutilizarse para rellenar obras de construcción, y vidrio molido puede utilizarse en vez de arena en la construcción.
- **Reciclaje y compostaje.** Si los desechos no pueden evitarse o reutilizarse, deberían ser reciclados o convertidos en compost, para el caso de los desechos orgánicos. En la Isla Santa Cruz ya se ha implementado exitosamente un sistema para la separación y reciclaje de desechos. Sin embargo, este esfuerzo debe intensificarse y ampliarse para incluir otros objetos, tales como desechos eléctricos y electrónicos. El objetivo final es implementar y operar un sistema de reciclaje y compostaje para todas las islas habitadas de Galápagos.
- **Recuperar energía de los desechos es otra forma de reutilización.** En este momento este enfoque es difícil de implementar en las Islas Galápagos debido a que la cantidad de desechos generados no es suficiente para implementar una planta rentable aplicando la tecnología disponible actualmente. Sin embargo, en las Islas Galápagos,

la recuperación de energía proveniente de desechos se hace a pequeña escala recolectando aceite usado proveniente de los barcos de turismo y de las mecánicas en Santa Cruz y San Cristóbal y utilizando la energía de su incineración para producir cemento en el Ecuador continental.

- **Disposición final/relleno.** La disposición final o relleno debería ser la última opción posible en la gestión de residuos sólidos y debería aplicarse únicamente para materiales que no tienen ningún uso práctico de tal manera que garantice que el sitio de disposición final no tenga impacto en el ambiente. Los actuales sitios de disposición final de los desechos existentes en las Islas Galápagos no cumplen con los estándares mínimos de seguridad y salud ambientales. Mejorar estos sitios requiere de desarrollo y cumplimiento de estrictos principios y normas para el manejo de rellenos sanitarios, y la creación de sistemas de monitoreo para garantizar un manejo ambientalmente amigable de estos sitios.

a) Sostenibilidad técnica

Es esencial desarrollar capacidad técnica y destrezas dentro de las instituciones locales para la operación y manejo de un sistema moderno de reciclaje y manejo de desechos **ofreciendo asistencia técnica continua *in situ***. Varias iniciativas y proyectos han demostrado que la transferencia de tecnología y de conceptos por sí sola no es suficiente y deben combinarse con entrenamiento y asistencia técnica continuos. Nuestra experiencia en la Isla Santa Cruz demuestra que la ayuda técnica sostenida dentro de la estructura municipal existente permite crear conocimiento y capacidades durables y transferibles. Trabajar dentro de las estructuras existentes permite ser flexibles para adaptar la implementación de modernos sistemas de reciclaje y manejo de desechos a las realidades locales.

También ofrece una oportunidad a las autoridades locales y a la población de aprender y reconocer los beneficios que provee esta nueva iniciativa. Estos beneficios no aparecen inmediatamente al inicio de la implementación del proyecto, sino que requieren de tiempo para surgir y ser reconocidos.

b) Sostenibilidad financiera

Crear sostenibilidad financiera de un sistema de manejo de desechos en las Islas Galápagos es un reto y probablemente no sea posible en el corto a mediano plazo. La comercialización de materiales reciclables puede contribuir, pero es insuficiente por sí sola. Sin embargo, hay instrumentos prometedores para crear suficientes ingresos para cubrir los costos operativos de un sistema de manejo de desechos y hay que instar/estimular a los consumidores a que hagan sus hábitos más sostenibles.

El principio quien contamina paga requiere que los productores de desechos asuman los costos de manejo y procesamiento de los desechos. También requiere que aquellos que contaminen el ambiente (por ejemplo, botar o descargar basura ilegalmente) sean responsables de sus acciones.

La responsabilidad extendida del productor requiere que el productor o alguna otra entidad a lo largo de la cadena de valor de algún producto se haga cargo del producto al final de su vida útil, incluido el empaque.

c) Sostenibilidad social

Otro componente importante para asegurar la sostenibilidad de un adecuado manejo de desechos es la colaboración de la población local. Una campaña de educación ambiental a largo plazo enfocada en el principio de prevención como noción fundamental se ampliará más allá de prácticas de reciclaje y reducción de desechos como la herramienta principal para lograr una nueva cultura de reciclaje y manejo sostenible de desechos.

Bibliografía

AME. Diciembre 2003. *Plan Estratégico del Cantón Santa Cruz. Puerto Ayora.*

Cantano, Alis. Ministerio de Medioambiente del Reino Unido. 2003. *El Convenio MARPOL 73/78: Un Estudio Detallado 2003.* Quito: s.n.

Carbonell Yonfá, Yolanda; Carlos Falconí G. Junio 2010. *Formulación de tasas para el servicio de gestión integral de residuos y reciclaje de Santa Cruz, provincia de Galápagos.* Informe interno WWF.

Chile, Comisión Nacional de Medio Ambiente de. 2005. *Lineamientos Planes de Gestión de Residuos Peligrosos.* Santiago de Chile: s.n.

Collazos, Héctor. 2005. *Diseño y operación de rellenos sanitarios.* Escuela Colombiana de Ingeniería.

Congreso de la Unión de Estados Mexicanos. 2003. *Ley General para la prevención y gestión Integral de los residuos.* México: Registro Oficial de la Federación.

Congreso de la Unión de Estados Mexicanos. 2007. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.* Última Reforma DOF 19-06-2007. Art. 5, fracción XXXII.

Corporación OIKOS. Junio 2000. Manual de Reciclaje de Plásticos.

Decreto Supremo No. 3516 del 27 de diciembre de 2002. Presidencia de la República del Ecuador. 2002. *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.* Quito: Registro Oficial.

De la Torre, Francisco. 2008. *Caracterización de los Desechos Sólidos en las Islas Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela, Galápagos.* Informe interno WWF.

EPA. 1974. Heuristic Routing for solid waste collection vehicles.

FCD, PNG & INGALA. 2007. *INFORME GALÁPAGOS 2006-2007.* 978-9978-53-028-3.

Fundación Natura, Fundación Carvajal, USAID. 1998. *Proyecto de Manejo Integral de Residuos Sólidos de las Islas Galápagos - Ecuador.* Quito: s.n.

GTZ, SEMARNAT &. 2006. *Guía para la Elaboración de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.* México: s.n. ISBN: 970-9983-01-6.

INGALA, INEC. 2006. *Censo de Población y Vivienda del Archipiélago de Galápagos.*

Jaramillo, Jorge. 2002. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.* OPS, OMS.

Lund, Herbert F. 1996, Manual McGraw-Hill de Reciclaje.

Maine Compost School. June 1992. *On-Farm Composting Handbook.* Maine.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

OPS. 1999. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos.*

Organización Panamericana de la Salud. 2005. Informe Regional sobre la Evaluación de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales en la Región de América Latina y el Caribe. ISBN 92 75 12577 5.

Paraguassú de Sá, Fernando; Carmen Rojas Rodríguez. 2002.

Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública.

II Curso para encargados de los servicios de aseo urbano del país.

Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ecuador. OPS – OMS.

Pardavé Livia, Wlatter. 2007. *Estrategias Ambientales de las 3R a las 10R.* ECOE Ediciones.

Rimache Artica, Mijail. 2008. *Abonos Orgánicos. Lombricultura.* Perú.

Röben, Eva. 2002. *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales.* DED/ Ilustre Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador.

Röben, Eva. 2002. *El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico.* Municipio de Loja/DED.

Röben, Eva. 2002. *Manual de compostaje para Municipios.* DED. Municipio de Loja.

Robles Martínez, Fabián. 2008. Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Instituto Politécnico Nacional. Segunda Edición. México.

Runfola, José; Antonio, Gallardo. 2009. *Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas.*

Rynk, Robert et al, Natural Resource, Agriculture and Engineering Service (NRAES), Maine Compost School. June 1992. *On-Farm Composting Handbook,* Maine.

SANITEC Cía. Ltda. 1995. *Diagnóstico del Servicio de Aseo de Santa Cruz.*

Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ecuador. Octubre. 1985. II Curso para encargados de los servicios de aseo urbano del país. OPS – OMS.

Trejo Vázquez, Rodolfo. 1996. *Procesamiento de la basura urbana.* Editorial Trillas.

Universidad de Wisconsin-Madison, 2010. Leslie Cooperband. Biología del compostaje. Departamento de Ciencias de Suelo.

U.S. Environmental Protection Agency. 1977. *Procedures manual for ground water monitoring at solid waste disposal facilities.*

WWF y Toyota. 2010. *Plan de Manejo de Desechos para las Islas Galápagos. Puerto Ayora.* Quito. ISBN-978-9942-02-893-8.

WWF. 2010. *Formulación de tasas para el servicio de gestión integral de residuos y reciclaje de Santa Cruz, provincia de Galápagos.* Puerto Ayora : s.n.

Índice de tablas

Tabla 1.	Características deseadas de la GIRS	15
Tabla 2.	Tamaño de la pre-muestra	23
Tabla 3.	Cuadro de actividades para período de muestreo	25
Tabla 4.	Formulario de tiempos y movimientos	50
Tabla 5.	Definición del grado de aseo público urbano	60
Tabla 6.	Ejemplo de dimensionamiento de barrido	63
Tabla 7.	Tipos de recolección de residuos	70
Tabla 8.	Ejemplo de dimensionamiento del sistema de recolección	82
Tabla 9.	Ejemplo de costeo del servicio	84
Tabla 10.	Estimación del área del relleno sanitario	96
Tabla 11.	Generación de lixiviados en base a la precipitación y compactación	102
Tabla 12.	Análisis de lixiviados	106
Tabla 13.	Tipos de plásticos	126
Tabla 14.	Criterios de calidad para vidrio reciclable	127
Tabla 15.	Ejemplo de composición de los residuos sólidos urbanos	131
Tabla 16.	Ejemplo de materiales a separarse	132
Tabla 17.	Redimientos de separación por tipo de material	133
Tabla 18.	Ejemplo de cálculo de requerimiento de personal	134
Tabla 19.	Relación C/N de algunos materiales	144
Tabla 20.	Resumen de parámetros para un compostaje aeróbico y termofílico	145
Tabla 21.	Proyección de la población de la Isla Santa Cruz	157
Tabla 22.	Estimación del número de muestras	157
Tabla 23.	Valores de PPC obtenidos para la Isla Santa Cruz	158
Tabla 24.	Valores PPC en parroquias. Isla Santa Cruz	158
Tabla 25.	PPC sector turístico	159
Tabla 26.	Características meteorológicas del sitio de construcción del relleno sanitario de la Isla Santa Cruz	171
Tabla 27.	Características de la celda diaria	172

Índice de gráficos

Gráfico 1.	Generadores de residuos	12
Gráfico 2.	Gestión integral de residuos sólidos urbanos	13
Gráfico 3.	Prioridad en la gestión integral de residuos sólidos	16
Gráfico 4.	Balace de masas	21
Gráfico 5.	Ejemplo de ubicación de estratos y principales generadores	22
Gráfico 6.	Ejemplo de selección aleatoria de manzanas	24
Gráfico 7.	Cuardeo de las muestras	26
Gráfico 8.	Selección de montón final para la muestra	29
Gráfico 9.	Ejemplo de zona a muestrearse	30
Gráfico 10.	Esquema de ruta ineficiente	65
Gráfico 11.	Ruta mejorada	66
Gráfico 12.	Ejemplo de macrosectorización	76
Gráfico 13.	Ejemplo de arreglo para microrruta de cuatro manzanas, con calles en doble sentido	78
Gráfico 14.	Ejemplo de arreglo para microrruta en tres manzanas, con calles en doble sentido	79
Gráfico 15.	Ejemplo de variación para microrruta en tres manzanas, con calles en doble sentido	79
Gráfico 16.	Ejemplo para arreglo de bloque de 4 x 4 manzanas, con calles en doble sentido	79
Gráfico 17.	Ejemplo para arreglo de bloque de 6 x 4 manzanas, con calles en doble sentido	80
Gráfico 18.	Ejemplo para arreglo de bloque de 6 x 8 manzanas, con calles en doble sentido	80
Gráfico 19.	Ejemplo para arreglo de bloque con manzanas irregulares, con calles en doble sentido	81
Gráfico 20.	Ejemplo para arreglo de bloque con manzanas irregulares, con calles en doble sentido	81
Gráfico 21.	Tipos de rellenos sanitarios	91
Gráfico 22.	Componentes del relleno sanitario	94
Gráfico 23.	Algunas formas de drenaje de lixiviados	95
Gráfico 24.	Celda tipo	100
Gráfico 25.	Chimeneas	105
Gráfico 26.	Diagrama de operación de un relleno sanitario	108
Gráfico 27.	Descarga de basura en celda diaria	110
Gráfico 28.	Conformación de la celda	111
Gráfico 29.	Compactación de residuos en la celda	111
Gráfico 30.	Cobertura de la celda	112
Gráfico 31.	Compactación	113
Gráfico 32.	Construcción de chimeneas	114
Gráfico 33.	Símbolos de reciclaje por tipo de plástico	127
Gráfico 34.	Banda transportadora de separación sobre el piso	130
Gráfico 35.	Banda transportadora de separación elevada	130
Gráfico 36.	Fases del compostaje	140
Gráfico 37.	Ejemplo de esquema de planta de compostaje	142
Gráfico 38.	Islas Galápagos	152
Gráfico 39.	Isla Santa Cruz, Galápagos	155
Gráfico 40.	Subproductos de la Ciudad de Puerto Ayora, Isla Santa Cruz	159
Gráfico 41.	Esquema de manejo de los residuos sólidos en la Isla Santa Cruz	162
Gráfico 42.	Recorrido de vehículo recolector de rechazos hasta disposición final	163
Gráfico 43.	Microrruta de recolección de orgánicos y reciclables	163
Gráfico 44.	Recorrido de recolección de residuos de embarcaciones en Bahía Academia	164
Gráfico 45.	Plano de rutas de barrido de Puerto Ayora, Isla Santa Cruz	165
Gráfico 46.	Composición del material reciclado en el PAFV. 2009	167
Gráfico 47.	Pesos y porcentajes de material reciclado en el PAFV. 2010	167
Gráfico 48.	Crecimiento porcentual del material reciclado en el PAFV	168

Siglas

AME	Asociación de Municipalidades del Ecuador
CEPIS/OPS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria de la Organización Panamericana de la Salud
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DED	Servicio de Desarrollo Alemán (sigla en alemán)
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (sigla en inglés)
FCD	Fundación Charles Darwin
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos
GTZ	Cooperación Técnica Alemana (sigla en alemán)
INEC	Instituto Ecuatoriano Nacional de Estadísticas y Censos
INGALA	Instituto Nacional Galápagos
MARPOL	Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques (abreviación de polución marina – “marine pollution”)
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PAFV	Parque Ambiental Fabricio Valverde
RAMSAR	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (siglas en inglés)
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México
SPI	Sociedad de Industrias del Plástico (siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (sigla en inglés)
UNEP	Programa Ambiental de las Naciones Unidas (siglas en inglés)
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (sigla en inglés)
WWF	World Wildlife Fund



WWF trabaja por un planeta vivo y su misión es detener la degradación ambiental de la Tierra y construir un futuro en el que el ser humano viva en armonía con la naturaleza:

- conservando la biodiversidad biológica mundial
- asegurando que el uso de los recursos naturales renovables sea sostenible
- promoviendo la reducción de la contaminación y del consumo desmedido.

World Wildlife Fund

1250 Twenty-Fourth St., NW
Washington, DC 20037, USA
Website: www.worldwildlifefund.org
Tel.: 202-495-4800

WWF Ecuador

**WWF Programa Regional
Amazonas Norte & Chocó-Darién**

Oficina Programa Galápagos
Calle Piqueros s/n y 18 de Febrero
Puerto Ayora, Santa Cruz Island
Galapagos, Ecuador
Telefax: (593 5) 252-6053