

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE GRADUACION PRESENTADO  
COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL  
TITULO DE LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL**

**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD ACERCA DEL TRANSPORTE  
DE DESECHOS SOLIDOS POR FERROCARRIL A UN RELLENO  
SANITARIO FUERA DE LA GRAN AREA METROPOLITANA DE  
COSTA RICA**

**ERIC SOLANO MORA**

**1991**

# **DEDICATORIA**

**A mis padres, por supuesto:  
Gracias por ser como son,  
y por haberme procreado.**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

DR. CARLOS QUESADA MATEO  
ING. CARLOS CONTRERAS MONTOYA, M.SC.  
ING. OSCAR DELGADO, M.SC.

DIRECTOR  
ASESOR  
ASESOR

## **RESUMEN.**

El presente trabajo tiene como un objetivo principal, hacer un análisis preliminar para utilizar el ferrocarril al Pacífico como medio de transporte de los desechos sólidos de la Gran Area Metropolitana. Se plantea la propuesta de establecer estaciones de transferencia en el trayecto, adonde se dirijan los camiones recolectores a descargar la basura. De aquí se trasladan a los vagones del ferrocarril, para ser transportados hasta su destino final, que es la construcción de un relleno sanitario en un sitio ubicado en el corredor de la línea férrea. El relleno sanitario debe ser bien operado, para evitar impactos ambientales. Por esta razón, también se plantea una metodología para la búsqueda de sitios donde ubicar un relleno controlado, en la cual se toman en cuenta una serie de factores, entre ellos la protección de los mantos acuíferos, la geología, la capacidad de uso de los suelos, la cercanía de ciudades y centros poblados, la accesibilidad, etc. Previo a esto se hace un repaso de los conceptos más importantes en el sistema de los desechos sólidos, describiendo brevemente cada uno de los componentes, a saber: generación de desechos, y su almacenamiento, recolección, transporte, reciclaje, tratamiento y disposición final.

Se concluye que este campo de la disposición final y tratamiento de los desechos sólidos es poco conocido para el ciudadano común, y aún entre muchos técnicos. Ejemplo de esto es que no se tiene una metodología definida, para la búsqueda de sitios aptos para el tratamiento de la basura. Incluso se desconoce la diferencia entre lo que es un relleno sanitario bien operado y un botadero a cielo abierto. En cuanto al transporte de la basura por ferrocarril fuera de la GAM, a un sitio de un tamaño y ubicación adecuados, se concluye que es técnicamente posible, y que su beneficio ambiental sería enorme, en el tanto en que se evitarían en gran medida la contaminación de los ríos con basura, y los botaderos de basura a cielo abierto. El beneficio económico para la empresa INCOFER, también sería parte de las ventajas, puesto que vendría a llenar un faltante en su demanda de transporte, tomando en cuenta su capacidad ociosa real existente en estos momentos.

# CONTENIDO

1 INTRODUCCION.....	8
1.1 OBJETIVOS.....	8
1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.3. ANTECEDENTES.....	9
1.3.1. COMENTARIOS GENERALES.....	9
1.3.2. DEFINICION Y CLASIFICACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS.....	13
1.3.3. HISTORIA DE LA DISPOSICION DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN LA AREA METROPOLITANA.....	17
1.3.4. ESTUDIOS REALIZADOS.....	18
2 EL SISTEMA DE LOS DESECHOS SOLIDOS (REVISIÓN BIBLIOGRAFICA).....	22
2.1 BREVE HISTORIA.....	22
2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESECHOS SOLIDOS.....	24
2.2.1. INTERRELACIONES ENTRE LAS PARTES.....	24
2.2.2. GENERACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS.....	27
2.2.3. ALMACENAMIENTO Y RECOLECCION.....	30
2.2.4. TRATAMIENTO.....	35
2.2.4.1. INCINERACION.....	36
2.2.4.2. COMPOST.....	36
2.2.5. RECUPERACION DE RECURSOS EN EL SISTEMA.....	37
2.2.5.1. RECUPERACION DE MATERIALES.....	40
2.2.5.2. RECUPERACION DE ENERGIA.....	42
2.2.5.3. RECUPERACION DE TERRENOS.....	43
2.3. TRANSPORTE DE DESECHOS SOLIDOS:ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.....	43
2.3.1. FINALIDADES Y VENTAJAS.....	44
2.3.2. TIPOS DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.....	45
2.3.2.1. CLASIFICACION SEGUN EL EQUIPO DE TRANSFERENCIA.....	45
2.3.2.2. CLASIFICACION SEGUN LA OPERACION DE CARGA.....	47
2.3.2.3. CLASIFICACION SEGUN EL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS.....	48
2.3.3. METODOLOGIA PARA EL PLANEAMIENTO Y PROYECTO DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.....	50
2.3.3.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION.....	50
2.3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES.....	52
2.3.3.3.DETERMINACION DE EQUIPOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIOS.....	53
2.3.4. ANALISIS DE COSTOS.....	53
3 METODOLOGIA PARA LA BUSQUEDA DE UN SITIO DONDE UBICAR UN RELLENO SANITARIO ..	55
3.1.DEFINICION DE RELLENO SANITARIO.....	55
3.2.IMPACTO AMBIENTAL.....	56
3.2.1. LOS DESECHOS SOLIDOS Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE.....	56
3.2.2. LA DISPOSICION FINAL DE DESECHOS SOLIDOS EN EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS.....	60
3.3. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA UBICACION DEL SITIO.....	61
3.3.1.HIDROLOGIA.....	61
3.3.1.1. AGUAS SUBTERRANEAS.....	62
3.3.1.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	62
3.3.1.3. PRECIPITACION.....	63
3.3.2. GEOLOGIA :MATERIAL DE RECUBRIMIENTO Y PRESENCIA DE FALLAS.....	63
3.3.2.1. UNIDADES ESTRATIGRAFICAS: PRESENCIA DE MATERIAL PARA RECUBRIMIENTO.....	64
3.3.2.2. FALLAS.....	65
3.3.3. USO DE LA TIERRA.....	66
3.3.4. CAPACIDAD DE USO DEL TERRENO.....	67

3.3.5. CANTIDAD DE TERRENO.....	67
3.3.6. ESTETICA.....	68
3.3.7. CERCANIA A LA RED VIAL Y ACCESOS.....	68
3.3.8. TOPOGRAFIA.....	68
3.3.9. VIENTOS DOMINANTES.....	68
3.3.10. PROCESO Y CRITERIOS DE SELECCION.....	68
3.4. TECNICAS DE RELLENO SANITARIO.....	70
3.4.1. METODO DE TRINCHERA.....	70
3.4.2. METODO DE AREA O RAMPA.....	72
3.4.3. INSTALACIONES Y OPERACION.....	72
3.4.4. EQUIPO.....	73
3.4.5. PRODUCCION Y CONTROL DE LIXIVIADOS EN UN RELLENO SANITARIO.....	74
3.4.6. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	79
3.4.6.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO: LODOS ACTIVADOS.....	79
3.4.6.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO: LAGUNAS.....	81
3.5. UTILIZACION DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA SELECCION DE SITIO.....	82
3.5.1. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	82
3.5.2. ELABORACION DE CARTOGRAFIA.....	83
3.5.3. MAPAS TEMATICOS: RECOLECCION DE DATOS.....	84
3.5.3.1. MAPA DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	84
3.5.3.2. MAPA DE LINEAS ISOFREATICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.....	84
3.5.3.3. MAPA DE LINEAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.....	85
3.5.3.4. MAPAS DE PRECIPITACION.....	86
3.5.3.5. MAPA GEOLOGICO.....	86
3.5.3.6. MAPA DE CAPACIDAD DE USO DE SUELO.....	87
3.5.4. ANALISIS DE LOS DATOS.....	88
4 ESTUDIO PRELIMINAR PARA ANALIZAR LA UTILIZACION DEL TRANSPORTE FERROVIARIO DE DESECHOS SOLIDOS.....	91
4.1. SITUACION DEL PROBLEMA DE LOS DESECHOS SOLIDOS A NIVEL NACIONAL Y DE LA GAM.....	91
4.2. SITUACION DEL FERROCARRIL ELECTRICO AL PACIFICO.....	105
4.2.1. FUNCIONES DE INCOFER.....	105
4.2.2. FINANCIAMIENTO DE INCOFER Y DEFICIT OPERATIVO.....	109
4.3. CONSIDERACIONES PARA LA FACTIBILIDAD TECNICA.....	112
4.3.1. VEHICULOS PARA EL TRANSPORTE.....	112
4.3.2. ESTACIONES Y SISTEMA DE TRANSFERENCIA.....	117
4.3.2.1. SISTEMA DE TRANSFERENCIA.....	117
4.3.2.2. UBICACION DE LAS ESTACIONES.....	118
4.4. CONSIDERACIONES PARA LA FACTIBILIDAD ECONOMICA.....	124
4.4.1. COSTOS DE LA PROPUESTA.....	124
4.4.2. COSTO UNITARIO DE TRANSPORTE POR FERROCARRIL.....	125
4.4.3. COSTOS UNITARIOS DEL TRANSPORTE EN CAMIONES RECOLECTORES.....	138
4.4.4. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS.....	140
4.4.5. ANALISIS DE ALTERNATIVAS.....	144
4.4.5.1. ALTERNATIVA 1.....	144
4.4.5.2. ALTERNATIVA 2.....	150
4.4.5.3. ALTERNATIVA 3.....	151
4.4.5.4. COMPARACION DE ALTERNATIVAS.....	157
4.4.6. CONCLUSIONES ACERCA DE LAS CONSIDERACIONES ECONOMICAS.....	160
4.4.7. BENEFICIOS POTENCIALES PARA EL INCOFER.....	164
4.5. JUSTIFICACION AMBIENTAL DE LA PROPUESTA.....	167
5 CONCLUSIONES.....	169
5.1. CONCLUSIONES.....	169
5.2. RECOMENDACIONES.....	170

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....172

# **1 INTRODUCCION**

## **1.1 OBJETIVOS.**

A) Proponer una metodología para la búsqueda de un sitio propicio para desarrollar un relleno sanitario.

B) Realizar un estudio preliminar para la utilización del sistema ferroviario de nuestro país, en el transporte de desechos sólidos a larga distancia.

## **1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

El presente trabajo está proyectado para que:

A) Sea el punto de partida de un análisis más minucioso de la alternativa del uso del ferrocarril al Pacífico, como medio de transporte de basuras generadas en la GAM.

B) Sirva como base para futuras investigaciones en el campo de los desechos sólidos, despertando el interés en el ámbito académico y profesional, para el estudio más a fondo de la utilización de técnicas distintas a las actuales, en particular en lo que se refiere a las técnicas ingenieriles que demanda un relleno sanitario.

C) Cree conciencia, en las entidades municipales y en el público en general, acerca de las ventajas de las acciones regionales sobre las acciones a nivel local, en el manejo de los desechos sólidos.

Las limitaciones que se presentan son:

A) El estudio se realizó para la Gran Area Metropolitana. Esta se conforma por 31 cantones, de los cuales 12 forman parte del Convenio Inter-Municipal (COCIM), que depositan actualmente su basura en Río Azul. Por lo tanto sólo existen registros de volúmenes de basura de estos doce cantones, ya que los restantes municipios la depositan en sitios que no tienen ningún control.

B) La cuantificación de los costos de recolección y disposición de basura, de operación y mantenimiento de los carros de recolección y del ferrocarril no es exacta, puesto que ni las Municipalidades del país ni el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), poseen una contabilidad de costos adecuada.

### **1.3. ANTECEDENTES.**

#### **1.3.1. COMENTARIOS GENERALES.**

La producción creciente de desechos sólidos en Costa Rica se está convirtiendo en un grave problema ambiental. Esto por el hecho de que casi en su totalidad, los residuos no se disponen de manera adecuada. Gran parte de ellos, es arrojada a los cauces de los ríos, siendo el Recurso Hídrico el más afectado. La incineración de los desechos, en botaderos a cielo abierto, y sin ningún control, también se realiza en algunas partes del país, con la inminente producción de gases y partículas nocivas, que contaminan la atmósfera. Incluso en el caso del sitio de disposición Río Azul, los desechos son vertidos y dejados temporalmente sin recubrimiento. Esto ha generado un problema social preocupante, la proliferación de los "buzos", los cuales hurgan entre los montones de basura en busca de restos de alimentos, con grave riesgo para su salud.

La generación de desechos no puede ser evitada, puesto que en cualquier rincón del mundo donde se encuentre el ser humano, dejará los residuos de sus actividades. Lo que sí se puede

evitar, es el impacto negativo que estos puedan ejercer sobre los Recursos Naturales y sobre el Hombre.

Pero la contaminación del Medio Ambiente por las basuras es tan solo el problema terminal, no es el único. Entre los problemas- causa tenemos la falta de un servicio de recolección adecuado, la falta de educación del público en materia de residuos sólidos, etc.

El servicio de recolección de basuras, en nuestro país, es prestado por las Municipalidades, pero los costos no son trasladados debidamente a los habitantes. Las tarifas municipales no están actualizadas, por lo que los costos del servicio no se logran cubrir totalmente. Conforme el país se desarrolle y la presión demográfica sea mayor, el volumen total generado de desechos aumentará, y los municipios no serán capaces de prestar el servicio con una cobertura adecuada.

Por otra parte, la educación de la población en el manejo de los desechos sólidos, es un factor que contribuye a agravar el problema. No hay conciencia de que un mal manejo de la basura, a quienes afecta eventualmente es a sus generadores.

Las anteriores deficiencias en el manejo de los desechos sólidos en nuestro país, son la causa de que gran cantidad de basura termine en las márgenes de los ríos, y esté produciendo un deterioro importante en la calidad de sus aguas. El impacto sobre el medio ambiente que ejercen los desechos sólidos, incluye la contaminación de ríos, aguas subterráneas, aire, alimentos, etc; de tal manera que el perjuicio mayor final recae sobre el Ser Humano.

Además del factor ambiental en el problema de los desechos sólidos, deben considerarse los factores económicos y sociales. La gran cantidad de desechos sólidos que se generan en nuestro país, son vertidos, casi en su totalidad, al medio ambiente. Los materiales reciclables y los recursos energéticos de los desechos no son aprovechados. De esta manera, se está perdiendo gran cantidad de dinero, al desechar estas fuentes de recursos: los materiales de plástico, metal, hule, vidrio, etc, que pueden ser recuperados y reciclados; y los desechos con contenido

energético en forma de calor, que pueden ser procesados para transformar su capacidad calorífica en otras formas de energía aprovechable, como electricidad o gases combustibles.

El país pierde, desde los puntos de vista económico y ambiental, al no existir un manejo adecuado de los desechos sólidos. La elaboración de un plan nacional de desechos sólidos requiere de la integración de un equipo de trabajo interdisciplinario. La participación de expertos en ingeniería económica, a la par de ingenieros expertos en transporte, evaluación de impacto ambiental, recursos hídricos; así como geólogos, especialistas en uso de la tierra, etc; es una necesidad real dada la naturaleza compleja del problema. Esta necesidad se refleja a lo largo del presente trabajo, en el que se sugieren soluciones al problema de la basura en la Gran Area Metropolitana, las cuales requieren de técnicas que involucran la participación de distintas profesiones.

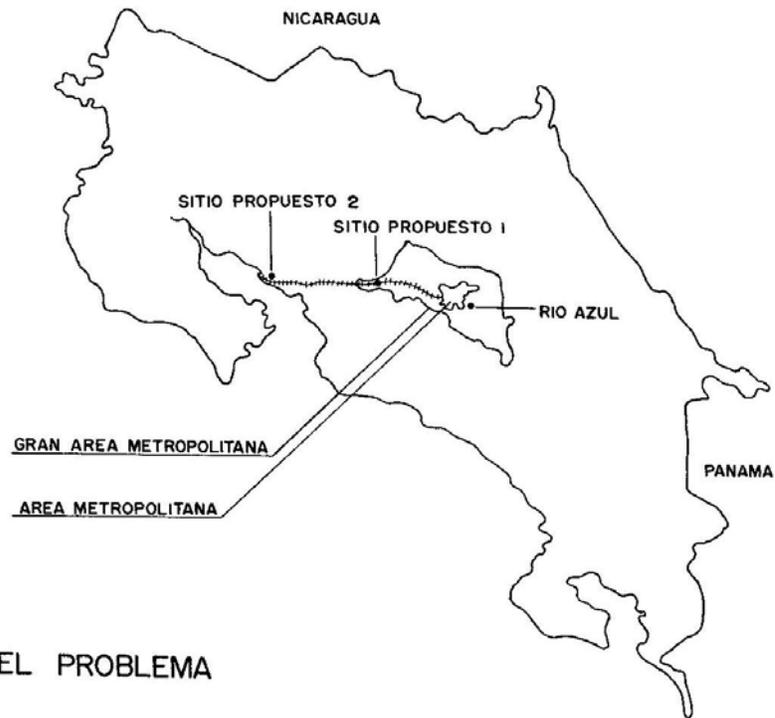
En este trabajo, se mencionan las investigaciones más importantes, que se han realizado recientemente en el campo de los desechos sólidos en nuestro país. Estas, dan recomendaciones

para la solución del problema de la basura en algunas partes del país, y sobretodo en la Gran Area Metropolitana. Sin embargo, aún no se han tocado con profundidad, los temas de la operación y mantenimiento de un relleno sanitario. Aquí se propone una metodología para la ubicación de sitios aptos para rellenos sanitarios. Se consideran una serie de aspectos físicos que son importantes en la selección de un terreno: hidrología, meteorología, uso de suelos, uso potencial de suelos, geología, etc.

La dificultad de encontrar sitios cercanos a los centros generadores, para destinarlos a rellenos sanitarios, es cada vez mayor debido al crecimiento urbano. El transporte a larga distancia de los desechos es una opción que ya se utiliza en los países desarrollados como Gran Bretaña y Estados Unidos, e incluso en Brasil. En estos días es sumamente difícil, si no imposible, ubicar otro sitio dentro de la propia Gran Area Metropolitana, para crear un relleno sanitario. El problema se agrava con la oposición del público que ha visto las malas condiciones en que opera Río Azul. La solución a este problema es el buscar terrenos fuera de la

GAM, en localidades que sean más despobladas. Esto por su parte, requiere de un medio de transporte alternativo, ya sea utilizando camiones de gran capacidad o el ferrocarril.

Se propone la utilización del Ferrocarril al Pacífico como medio de transporte de los desechos. Esto contribuiría a solucionar el problema deficiente con que trabaja el ferrocarril en estos días, y se estaría cubriendo la capacidad de transporte ociosa existente. El relleno estaría ubicado en las áreas cercanas al corredor del ferrocarril. Para el traslado de la basura desde los camiones recolectores hasta los vagones del ferrocarril, se construirían estaciones de transferencia ubicadas en los centros de gravedad de las ciudades tributarias generadoras. En el mapa #1, se muestran los elementos del problema.



MAPA #1  
ELEMENTOS DEL PROBLEMA

### **1.3.2. DEFINICION Y CLASIFICACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS.**

En Costa Rica se acostumbra denominar basura, a todo desecho o residuo que se produzca en los hogares, negocios, mercados, hospitales, industrias, etc. Para los costarricenses, indiferentemente, los restos de comida, papeles, escombros de construcción o restos de animales muertos son "basura". En esta palabra se concentran muchos significados, puesto que reúne todo aquello que ha dejado de ser útil para las personas y que ha sido desechado. La causa por la cual el costarricense no utiliza términos diferenciadores, se encuentra con seguridad en el mal manejo que se le da a los desechos en nuestro país. Las personas están acostumbradas a reunir todos sus desechos sólidos en un solo recipiente, para que sean recogidos por el camión municipal. Nunca se les ha instruido en el sentido de que en la misma bolsa o bote, está depositando materiales biodegradables y no biodegradables, combustibles y no combustibles, compresibles e incompresibles, etc.

El diccionario, define las palabras basuras, residuos, desperdicios, escorias y detritos como sinónimos. En el manejo del Sistema de los desechos sólidos, es importante conocer perfectamente la "materia prima" con la que se está trabajando. Se debe conocer la composición de los desechos y diferenciarlos mediante términos apropiados. Aún y cuando, en sus propias lenguas, también las distintas palabras para designar los desechos son sinónimos, los países desarrollados, han establecido una correspondencia entre una determinada palabra y un tipo específico de residuos con características particulares. Los términos más utilizados por las personas encargadas de la recogida y tratamiento de los desechos en EEUU son los siguientes (REF.#16):

- Residuos (wastes): Término general para designar materiales inútiles e inservibles desechados. Pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.
  
- Residuos sólidos (refuse, solid wastes): La clasificación de los residuos sólidos puede ser de acuerdo a su origen: domésticos, institucionales, comerciales, industriales, callejeros,

de derribos o construcciones. Puede establecerse también de acuerdo a su naturaleza: orgánicos o inorgánicos, combustibles o incombustibles, etc. Puede ser también de acuerdo a la clase de material, como se detallará a continuación.

A) Basura (Garbage): Son los residuos sólidos animales y vegetales que proceden de manipular, guisar y servir los alimentos. Se compone en su mayor parte de materia orgánica putrescible y sus jugos naturales e incluye un mínimo de líquidos libres. Se origina principalmente en las cocinas domésticas, de tiendas, mercados, restaurantes y otros lugares donde se almacena, prepara o sirve comida.

B) Objetos desechados (Rubbish): Está formado por una variedad de residuos sólidos combustibles e incombustibles procedentes de domicilios particulares, establecimientos comerciales e instituciones, pero no incluyen residuos del ítem anterior. Se clasifican en combustibles e incombustibles. Los combustibles son los componentes orgánicos de los residuos sólidos: papel, trapos, cartones, cajas, madera, pajas, caucho, plásticos, cuero, ramas de árboles, etc. Aunque los objetos combustibles son orgánicos, son poco o nada putrescibles. Los incombustibles son los componentes inorgánicos como: botes de hojalata, metal pesado, materias minerales, vidrio, loza, polvo, escorias, etc. Aunque algunos de los metales sufren una lenta desintegración al oxidarse, estos residuos son estables.

C) Escorias (Ashes): Las escorias y cenizas son residuos de madera, carbón y otros materiales combustibles utilizados en domicilios particulares, establecimientos comerciales, instituciones e industrias, para calefacción, guisar y eliminar residuos sólidos combustibles. Las escorias están compuestas generalmente por una mezcla de un residuo polvoroso muy fino, ceniza, carbonilla y pequeñas porciones de combustible sin quemar.

D) Residuos domésticos (Household refuse): El término se aplica a una mezcla de basuras domésticas y objetos de desecho combustibles.

E) Desechos de la calle (Street refuse): Son materiales recogidos durante el barrido manual o mecánico de las calles y aceras y de las papeleras públicas, e incluyen papel, polvo, hojas, etc.

F) Animales muertos: Son los que mueren por causas naturales, por enfermedad o por accidentes. No se incluyen los restos de los mataderos.

G) Escombros de construcciones: Son residuos sobrantes de la construcción, reforma y reparación de casas, edificios y otras estructuras. Incluye una gran variedad de materiales tales como tierra, piedras, ladrillos, yeso, papeles pintados, madera, tejas y otros materiales de tejados, piezas de fontanería y elementos eléctricos estropeados.

H) Residuos sólidos de alcantarillado sanitario (Aguas negras): Los residuos sólidos grandes, orgánicos en su mayoría, se criban, separándolos a su llegada a la instalación de tratamientos de residuos de alcantarillas, y se depositan en el relleno sanitario. El contenido de tanques sépticos y pozos negros se deposita con frecuencia en rellenos sanitarios cuando falta una instalación para el tratamiento de residuos.

I) Residuos peligrosos o especiales: Son los que presentan problemas excepcionales de tratamiento o que exigen métodos especiales de manipulación. Generalmente, entre los residuos ordinarios hay presentes pequeñas cantidades de esta clase de residuos, como pinturas, que en grandes cantidades podrían producir fuegos peligrosos en el relleno sanitario. Los residuos patológicos de hospital y los residuos radiactivos exigen una manipulación especial, sea cual fuere su cantidad.

Otros residuos de importancia son los industriales, que en nuestro país representan un gran impacto en el ambiente, en el caso de las grandes cantidades de desechos de café que van a contaminar los ríos. En el cuadro #1.1, se presenta en resumen esta información.

CUADRO #1.1: CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS POR COMPOSICION

CLASE	COMPOSICIÓN
Basura	Residuos Solidos procedentes de preparar, guisar y servir comida. Residuos de la manipulación, almacenamiento y venta de frutas y verduras.
Objetos desechados	Combustibles: Papel, cartones, cajas, barriles, etc.
	Incombustibles: Metales, botes de hojalata, vidrio, loza, etc.
Escorias	Residuos de fuegos usados para guisar y calefacción e incineraciones.
Residuos Callejeros	Barreduras, polvo, hojas, el contenido de los sumideros y papeleras callejeras.
Animales muertos	Gatos, perros, caballos, vacas.
Vehículos abandonados	Automóviles y camiones abandonados en la via publica.
Residuos industriales	Residuos procedentes de tratamiento de productos alimenticios, escorias de calderas, residuos de maderas y metal, etc.
Escombros de derribos	Maderas, tuberías, ladrillos, etc.
Escombros de construcciones	Restos de maderas, tuberías y otros materiales de construcción.
Residuos especiales	Materiales solidos peligrosos, explosivos, residuos patológicos, materiales radioactivos.
Residuos de alcantarillas	Solidos procedentes de tamices gruesos y camaras desarenadoras de tanques sépticos.

Fuente: Institute for solid wastes of American Public works Association, 1976.

### **1.3.3. HISTORIA DE LA DISPOSICION DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN LA AREA METROPOLITANA.**

En 1941, la basura se recogía en San José en carretones de metal, halados por mulas. La basura se depositaba donde hoy está el Estadio Antonio Escarré y se incineraba en hornos. En 1946, se traslada el tratamiento de la basura a Sagrada Familia, en lo que hoy es el Parque 25 de Julio, hasta 1961. Desde este año hasta 1973, el tratamiento mediante el método de botadero a cielo abierto se lleva a cabo en Rohrmoser. Los primeros recolectores con sistema de compactación se compraron en 1956, con una capacidad de carga aproximada a los 10 m<sup>3</sup>.

No es sino hasta agosto de 1973 que los desechos sólidos se tratan en el sitio Río Azul, ubicado parte en el distrito del mismo nombre, cantón de La Unión, provincia de Cartago, y parte en el distrito de Tirrases, Curridabat. El área es 25 hectáreas y 1152,23 m<sup>2</sup> que pertenecen al Convenio Cooperativo Municipal, y 37 hectáreas y 1676,12 m<sup>2</sup> más del Ministerio de Salud, para un total de 62,3 Ha. En 1978 se instaló la planta de pesaje, que permitió llevar un control del tonelaje de basura ingresada a Río Azul. Para darle solución conjunta al problema, se creó el Convenio Cooperativo Intermunicipal que está conformado por las municipalidades de Goicoechea, Alajuelita, Montes de Oca, Desamparados, Escazú, Moravia, Tibás, La Unión, San José, Curridabat, Aserri y Coronado (REF #26).

En junio de 1981, se realizó un estudio que permitió por primera vez zonificar y diagramar las rutas de recolección de residuos sólidos en el cantón central de San José. Hasta 1986, la Municipalidad de San José, vertía la basura que recogían los barredores de calles, en lotes y esquinas de calles, y no es sino a partir de setiembre de ese año que los peones empiezan a usar bolsas plásticas de 200 litros de capacidad, las cuales se van llenando y se cargan en los carretillos. También se inician las campañas de limpieza, las cuales consisten en recoger los desechos no tradicionales como: muebles viejos, poda de árboles, materiales de construcción, tierra, etc (REF #26).

Según datos de la Municipalidad de San José (1991), en estos momentos operan dos tractores en Río Azul, y solamente se pueden usar para esparcir y compactar los residuos sólidos, debido a la

gran cantidad que ingresa (734 toneladas métricas promedio diario). En este informe anual de la Dirección de Saneamiento Ambiental, se indica que los desechos sólidos no están siendo cubiertos, por lo que se está contaminando a las poblaciones cercanas con malos olores, la producción de moscas es muy grande y existe el peligro de que las personas que deambulan por el sitio le prendan fuego. También se menciona el problema del precarismo. La problemática actual del sitio de disposición Río Azul se resume en los siguientes aspectos:

- No hay suficiente material de recubrimiento, por lo que la basura con frecuencia queda expuesta por largos periodos.
- La proliferación de moscas perjudica a las poblaciones vecinas.
- La gran cantidad de pepenadores o buzos, que escarban entre la basura en busca de algún objeto al que le puedan sacar provecho, e incluso de restos de comida, con peligro para su salud.
- La invasión de precaristas al sitio, que incluso han ubicado sus ranchos sobre áreas donde ya se ha cubierto basura.

#### **1.3.4. ESTUDIOS REALIZADOS.**

La mayor parte de los trabajos de investigación realizados, se limitan a un cantón o grupo de ellos. Se hace una evaluación de la situación y se proponen mejoras. Otro tipo de estudios realizados corresponde al tema de la recuperación y reciclaje de los desechos, como elementos necesarios en la búsqueda de una solución integral al problema.

A) En la tesis de Ureña y Romero (1984), se evalúa la problemática que en el campo de la recolección, el transporte y la eliminación, se presenta en los cantones de San Pablo, Santa Bárbara, San Rafael, Barva y Flores. Enuncian una propuesta que desde la perspectiva regional, tienda a superar las deficiencias detectadas en la operación a nivel local. Recomiendan un

modelo de administración diferente al actual, mediante la creación de un organismo especializado, que asuma las características de una empresa pública intermunicipal, con capacidad para satisfacer los requerimientos de las comunidades. En el modelo se analizan, entre otros aspectos: producción de desechos a recoger, zonificación de la región, insumos requeridos y costos. No se analizan formas alternas de disposición a las que ya existen en la zona.

B) Jiménez y Zúñiga (1984), llevan a cabo un análisis químico y físico de los desechos depositados en Río Azul. Entre los resultados que obtuvieron se destacan que las basuras contienen un alto porcentaje de materia orgánica y en menor grado, plásticos, papel y vidrio. La humedad presente en los desechos es muy alta (alrededor del 60%) con una gravedad específica de 1,40 y una capacidad calorífica de 16,35 MJ/Kg. Con base en esas y otras características de la basura, se hizo un análisis de alternativas para su aprovechamiento. La incineración no sería rentable debido al alto grado de humedad de la basura depositada en el sitio. Para la obtención de biogás y bio-abono (fermentación anaeróbica), las condiciones químicas son favorables, siendo el inconveniente la necesidad de utilizar solamente material biodegradable como materia prima, por lo que habría que hacer una separación previa al proceso. Para la producción de compost (fermentación aeróbica) habría que variar un poco las condiciones químicas de la basura, siendo el mayor inconveniente también el proceso de separación de la materia degradable, para el que recomiendan un método de separación semi-automática.

C) En la tesis de Ulate (1986), se hace una evaluación del problema de las basuras domésticas e industriales de San Ramón y Palmares y se estudian las alternativas de solución para su recolección y disposición. Hace un análisis para la instalación de un relleno sanitario en cada una de las dos ciudades. Los sitios que analiza, habían sido ubicados por una comisión en 1981, sin haber hecho ningún estudio previo. Una vez que habían escogido el sitio, se le efectuaron estudios de hidrología. Explica claramente la definición del concepto de relleno sanitario, y recomienda su utilización, pero no menciona aspectos de su operación y mantenimiento.

CH) Torres (1986), realiza en su tesis, un estudio del manejo de los desechos en las comunidades de la Cuenca del Río Segundo. Enfatiza en las mejoras que deben hacerse al sistema de recolección. Realiza y recomienda un diseño de rutas que los camiones deben seguir para un servicio más eficiente. Hace una evaluación de los sitios donde se deposita la basura actualmente, señalando que se trata de simples zanjas rodeadas de cafetales, y recomienda que al menos se les aplique el recubrimiento diario con tierra.

D) En un trabajo más reciente, Lachner (1990), analiza las alternativas de reciclaje de papel, vidrio y plásticos en nuestro país. Las empresas que tienen experiencia en este campo son: Scott Paper Co., en donde se reciclan de 15 a 25 toneladas diarias de papel; Tyrmeplas (Tratamiento y Recuperación de Metales y Plásticos), que recupera varios tipos de plástico como el polietileno, PVC, polipropileno y poliestireno. Llega a la conclusión de que el reciclaje de estos tres materiales es factible desde el punto de vista técnico así como justificable y recomendable desde el punto de vista ambiental. Apunta que es la empresa privada la que en este momento posee la tecnología y la experiencia práctica para llevar a cabo el proceso de reciclaje de desechos sólidos en nuestro país.

E) En 1990, una empresa norteamericana, la Southern Recycling Systems International, Inc., presentó un proyecto de reciclaje de residuos sólidos y generación de energía en nuestro país. El proyecto, llamado Saneamiento y Reciclado en Costa Rica (SARECORI), consistía de lo siguiente: "construir y operar instalaciones en el sitio de Río Azul para extraer materia inorgánica tal como vidrios, metales, plásticos, etc., para su comercialización posterior; construir y operar instalaciones para la extracción de gas y su preparación para uso comercial como combustible; construir y operar una planta de generación, por etapas, que producirá electricidad empleando como combustible el gas metano contenido en el biogás del relleno; construir, en fecha posterior, un sistema de digestión anaeróbica para la extracción de gas metano de las basuras que continúen llegando al sitio de Río Azul" (REF #47).

La empresa SRSI se proponía invertir 53 millones de dólares en una planta que obtendría energía eléctrica a partir del biogás de Río Azul. Esa inversión, según la empresa, sería recuperada en menos de cinco años, con la venta de la energía al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Además, la empresa vendería gases para uso farmacológico, tales como oxígeno, nitrógeno y gas carbónico, así como abono orgánico llamado "digestate". Sin embargo, en un análisis hecho por especialistas de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), acerca del proyecto, mostró que éste no contaba con datos técnicos relevantes acerca de Río Azul, como el tipo de operaciones que se realizaban ni las características de los desechos ahí depositados: densidad, composición, humedad, capacidad calorífica, etc, datos fundamentales para el planeamiento de un sistema de recuperación de metano. Tampoco se presentó una evaluación de impacto ambiental. El contrato que se había hecho con dicha firma, se rescindió ese mismo año (REF.#45b).

## **2 EL SISTEMA DE LOS DESECHOS SOLIDOS (REVISIÓN BIBLIOGRAFICA)**

### **2.1 BREVE HISTORIA.**

Desde que la Humanidad hizo su aparición en el planeta, sus actividades han provocado la producción de desechos. Solo el hecho de vivir diariamente, implicaba la generación de excrementos. Vidart (REF.#54), señala que el estudio de los desechos sólidos producidos por el hombre debe hacerse recordando su doble naturaleza: la de ser racional evolucionado y la del animal primitivo que subyace en la especie. Es por esto que los residuos producidos por el hombre responden a su doble vocación: son residuos biológicos y residuos tecnológicos.

En el primer grupo distingue dos tipos: los desechos alimenticios no ingeridos, separados previamente de las sustancias nutritivas naturales o elaboradas, y las excretas fisiológicas. En el segundo grupo, los residuos sólidos generados por el hombre cultural, se relacionan con las actividades de extracción, producción y transformación de las economías predatorias (recolección, caza, pesca, minería, deforestación), las economías domesticantes (agricultura, cría, ganadería) y las economías industriales.

Es de suponer que debido a la escasa población en los principios de la Historia del Hombre, la disposición de los desechos no era un problema en absoluto. Su dilución en el medio ambiente era algo que se realizaba sin detrimento del mismo. Los residuos biológicos se degradaban rápidamente y no había peligro de su acumulación y contaminación de los recursos naturales. Conforme el hombre evolucionó y la densidad de población del planeta fue creciendo, la cantidad de residuos generada requería la búsqueda de soluciones para su disposición adecuada. Ya en el Antiguo Testamento, Moisés menciona una regla que el pueblo debía seguir para disponer sus excrementos:

"Señalarás un lugar fuera del campamento, adonde vayas a hacer tus necesidades naturales, llevando un palo puntiagudo en

el cinto, con el cual harás un hoyo, cubriendo después con la tierra sacada el excremento." (Deuteronomio, XXIII, 12-13).

De hecho, las excretas, que hoy en día no son consideradas en la definición de residuos sólidos, han tenido históricamente distintos destinos. Al principio, se depositaban directamente en la superficie terrestre, o se acumulaban profundamente "in situ" mediante excavaciones rústicas, que facilitaban el filtramiento de la orina y el agua de los excrementos a los niveles freáticos, o mediante dispositivos aislantes que transformaban al "pozo negro" en un depósito antiséptico (REF.#54). De manera similar, los desechos sólidos eran lanzados a la calle, y posteriormente, con el paso del tiempo, se idearía la técnica de enterrarlos.

En las civilizaciones antiguas, aunque se conocía el tratamiento mediante vertido y cremación, las basuras eran lanzadas a las calles y calzadas, donde se mezclaban con los excrementos de los animales domésticos. La utilización de las basuras para la cría de cerdos y el uso de residuos inorgánicos como relleno también se acostumbraban en la antigüedad. En excavaciones hechas en la ciudad de Cnosos, isla de Creta, ciudad que tuvo auge hace unos cuarenta siglos, se han encontrado restos de mezclas de basura y fango (REF.#16).

Como vemos, algunos métodos de disposición de residuos datan de hace muchos siglos, pero por el hecho de generarse pequeños volúmenes de basura que además era biodegradable, estas prácticas no eran del todo indispensables para los pueblos antiguos. Cuando las ciudades crecieron, surgieron las necesidades de implementar nuevas técnicas de recolección, transporte y tratamiento de los desechos.

Los hornos para quemar residuos se diseñaron a fines del siglo XIX, la reducción de basuras se introdujo en la década de los años 1880, la trituración de basuras se inició en los primeros años de la década de 1920 (REF.#16). La práctica del relleno sanitario controlado para basuras procedentes de centros urbanos importantes, tuvo lugar durante la Primera Guerra Mundial, y fue idea de los ingenieros ingleses Dawes y Call (REF.#2). En cuanto al transporte de los desechos, se tienen referencias de la utilización de la vía marítima en ciudades

como New York y Lisboa desde el siglo pasado, así como del uso del ferrocarril en París y Sao Paulo (REF.#5).

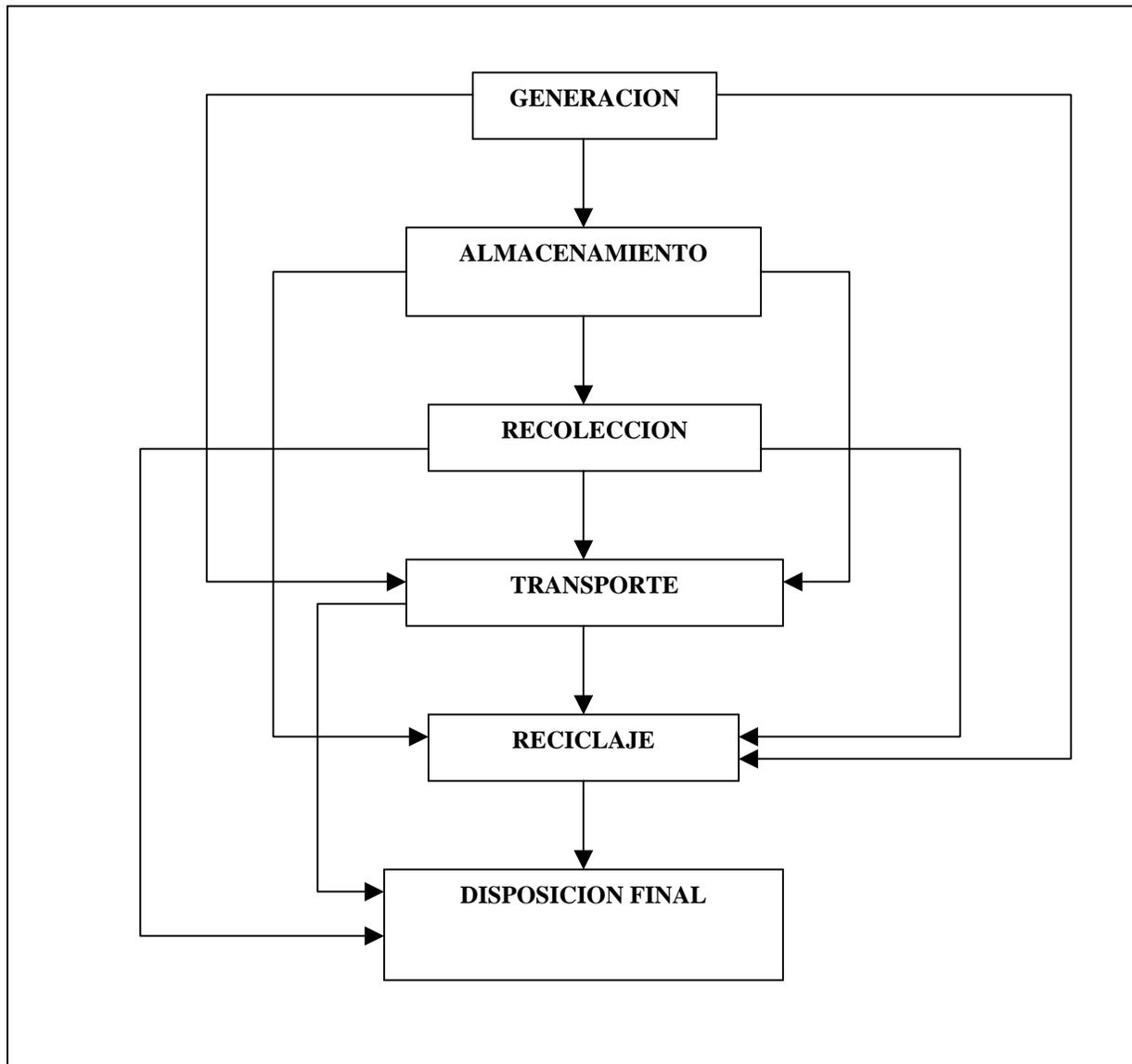
## **2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESECHOS SÓLIDOS.**

### **2.2.1. INTERRELACIONES ENTRE LAS PARTES.**

El ciudadano común no conoce el verdadero proceso que tienen o deberían tener los desechos sólidos que se producen en su propio hogar. Por lo general, las personas en sus casas reúnen o depositan las basuras domiciliarias en bolsas plásticas, estañones o cajas, que colocan fuera de su residencia, a la espera de los camiones recolectores municipales. Una vez que se ven libres de estos residuos, consideran el problema resuelto. Pero este no termina aquí, sino que siguen una serie de pasos intermedios hasta que los desechos llegan al sitio de disposición final. Estos pasos son los subsistemas que integran el Sistema de Residuos Sólidos, siendo la generación y el almacenamiento sólo dos de ellos. Los otros componentes son: la recolección, el transporte, el procesamiento, el reciclaje y la disposición final. Su estudio debe hacerse con el enfoque sistémico, para utilizar los conocimientos que se tengan de las partes con la finalidad de analizar el comportamiento del conjunto en su totalidad. Se debe dar gran importancia a la interacción existente entre los subsistemas.

El Sistema de Residuos Sólidos se encuentra compuesto por seis partes principales (REF.#9), como se muestra en la figura #2.1. Las interrelaciones que se podrían dar están ilustradas. Un cambio en alguna de estas actividades implica, una modificación en cualquier otra con las que se relaciona. Todas las partes se podrían relacionar entre sí. Antes o después, todas las partes ejercen su impacto sobre el componente disposición final.

**FIGURA 2.1**  
**INTERRELACIONES DENTRO DEL SISTEMA DE RESIDUOS SOLIDOS**



FUENTE: REF # 9

Entre las interrelaciones importantes que se podrían dar tenemos:

A) A medida que aumenta la producción de residuos sólidos, aumenta la necesidad de espacio para el relleno sanitario.

B) La separación de residuos en el lugar de recolección (clasificados en papeles, latas, vidrios y el resto) se lleva a cabo para su posterior reciclado. Esto podría reducir en una cantidad importante el volumen a ser dispuesto en el relleno sanitario, pero requeriría cambios de procedimientos en la recolección.

C) El empleo de camiones recolectores de gran capacidad puede reducir el número total de cuadrillas de recolección y permitir que el relleno sanitario se sitúe más alejado de la fuente generadora, lo que a su vez brinda mayores posibilidades en la selección del sitio. Las estaciones de transferencia son un excelente método para reducir los costos de transporte y disminuir la congestión de vehículos en el relleno sanitario.

Si se definieran los componentes y sus relaciones adecuadamente, a la hora de planificar se lograrían economías. Aunque los costos en un componente se incrementaran, su relación con el sistema en general puede producir una disminución de los costos totales. En algunas ocasiones, para lograr economías, se requiere un enfoque del problema a nivel regional, y no a nivel local. La utilización de las estaciones de transferencia, como un punto intermedio hacia un relleno sanitario más distante y moderno, se hace necesaria cada vez más debido a la dificultad de encontrar sitios para la disposición final. Esto implica la reunión de varias ciudades o poblaciones en la búsqueda de la solución.

En nuestro país, si cada Municipalidad procura resolver el problema de los desechos sólidos por cuenta propia, difícilmente se llegará a tener un concepto más global y no se le podrá dar un enfoque sistémico al mismo. Lo más conveniente sería dividir el territorio nacional en regiones, y analizar para cada una las posibles soluciones que incluirían: búsqueda de sitios para ubicar rellenos, posibilidad de estaciones de transferencia, posibilidad de centros de recuperación de materiales, diseño de rutas de camiones recolectores; y en general, todos

los componentes de un sistema que asegurara un buen manejo de desechos sólidos. La delimitación espacial de estas regiones no debería estar determinada por la división política del país, sino más bien por factores demográficos como: población, densidad de la población, concentración de ciudades; factores físico-geográficos como orografía, hidrología y topografía. Se establecerían fronteras más convenientes para el análisis del sistema. Se podría analizar la situación de los desechos sólidos por cuencas hidrográficas. De hecho ya se han realizado estudios, como por ejemplo el de Torres (REF.#50), quien presentó un diagnóstico del manejo de los residuos sólidos en las comunidades de la Cuenca del Río Segundo.

### **2.2.2. GENERACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS.**

Anteriormente se explicaron las clasificaciones que se deben hacer de los desechos sólidos para su estudio, y entre ellas se encuentra la que los agrupa según su origen. Hogares, fábricas, industrias, hospitales son solo algunos de estos sitios de Generación de residuos sólidos. En cualquier sitio donde se encuentre el hombre realizando actividades necesarias para su subsistencia o el desarrollo de su civilización, se generan desechos en general, y en particular desechos sólidos.

La generación de desechos no se puede evitar, así como no se puede evitar el avance del desarrollo de un país. El desarrollo de una nación requiere la transformación de recursos, naturales o económicos, en bienes y servicios que son utilizados por el ciudadano para su bienestar; proceso que en su totalidad genera desechos de algún tipo. Collazos (REF.#4), señala lo siguiente con respecto al aumento en la producción de desechos sólidos:

i) A medida que las poblaciones entran en el proceso de desarrollo, aumentan su producción per cápita de residuos sólidos.

ii) El aumento de la población es una causa del aumento de la cantidad de residuos.

iii) El aumento en la cantidad de materia no biodegradable en los desechos sólidos, tiene relación con el proceso de desarrollo de las poblaciones. Por su parte, en una población,

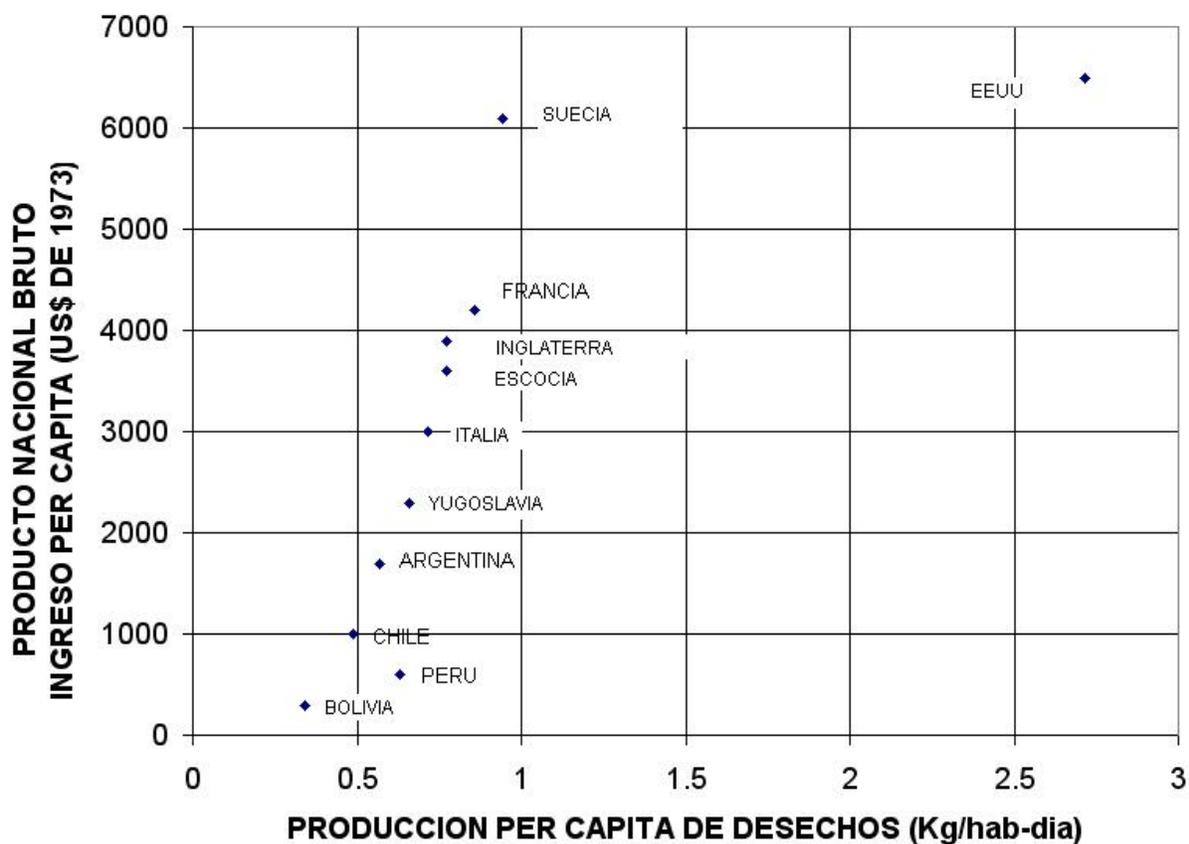
cuanto más baja sea la clase social, mayor es la proporción de materia orgánica generada. Según indica Coasaca (REF.#3), las basuras en América Latina están compuestas, en su gran parte, de material orgánico húmedo, siendo dos a tres veces más densa que en los países desarrollados.

Para ejemplificar esto, cabe señalar que se puede establecer una relación importante entre un indicador del desarrollo, como lo es el producto nacional bruto (PNB), y la producción per cápita de residuos sólidos, tal y como se muestra en la figura #2.2. En ella se puede observar que de dos países cualesquiera, el de mayor producción per cápita de desechos sólidos, es el que tiene un mayor producto nacional bruto.

Otros factores que influyen en la cantidad de desechos domiciliarios generados son:

- La estación del año: para una misma población, la producción es menor en verano.
- El modo de vida de los habitantes: la cantidad de desechos está influenciada por las migraciones cotidianas entre las ciudades y el resto de la aglomeración.
- El movimiento de las poblaciones durante los períodos de vacaciones, los fines de semana y los días de fiesta.
- El clima: en los países de clima no tropical se producen más cenizas en invierno debido a los medios tradicionales de calefacción (REF.#2).

FIGURA 2.2: TENDENCIAS DEL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN PER CAPITA DE BASURA EN RELACION CON EL INGRESO PER CAPITA



FUENTE: REF # 4

Debido al aumento constante de desechos sólidos y por ser esta la primera etapa del Sistema, lo que conviene hacer son cuantificaciones, utilizando técnicas adecuadas. Para desarrollar un relleno sanitario o un sistema de transporte, se necesita saber cuánta basura se genera. Generalmente esto se informa en términos de peso, por ejemplo: toneladas por año, Kg por persona y por día, etc. En muchos aspectos, sin embargo, conocer el peso es de valor limitado, ya que por ejemplo, para el diseño de un relleno sanitario no interesa el peso sino el volumen. Esta última medida es más difícil de obtener, puesto que depende de cuánto se han comprimido los residuos y de su densidad. Normalmente se dispone de cantidades promedio para convertir el peso en volumen, pero debe recordarse que cada caso puede diferir mucho del término medio. Los residuos domiciliarios pueden pesar por ejemplo, de 275 a 375 Kg/m<sup>3</sup>.

Hay metodologías para cuantificar, por ejemplo, Musa y Ho (REF.#31), proponen un método estadístico para determinar el tamaño de muestras de basura óptimo, que debe utilizarse para el estudio de la generación y composición en una población. Lohani y Ko (REF.#21), realizan un estudio similar, con base en muestras de hasta 3000 kg.

### **2.2.3. ALMACENAMIENTO Y RECOLECCION.**

Los componentes del Sistema denominados almacenamiento y recolección, y en particular esta última, son las más importantes desde el punto de vista económico. Según Gálvez von Collas (Ref.#10), la recolección de basura representa entre un 80 % y un 90% del costo total del manejo de los desechos sólidos, e incluyen: sueldos del personal, gastos de operación de vehículos, gastos de capital y otros. La contabilidad de estos costos no se realiza en muchas ciudades, lo cual es un impedimento para el manejo adecuado de los desechos sólidos. Por ejemplo, puede darse el caso de que en algunas ciudades la basura se bote a cielo abierto, pensándose que no se podría financiar un relleno sanitario. Pero si se hiciera un análisis de los costos de recolección, se podría buscar algún mejoramiento en este servicio, que dejaría fondos disponibles para efectuar el relleno sanitario.

En general, las acciones a realizar para lograr un manejo adecuado del subsistema de recolección, son al menos:

A) Estudiar las condiciones en que se lleva a cabo el almacenamiento de las basuras en los sitios de generación, a la espera de ser recogidos. Determinar cuáles son los factores, que más perjudican el buen desempeño de la labor de los recolectores, en el momento de trasladar los desechos desde el punto donde están almacenados, hasta el vehículo correspondiente.

Se deben crear leyes sanitarias que obliguen a todos los propietarios de casas o industrias, y en general, a todo generador de desechos, a que almacenen adecuadamente sus residuos sólidos, de tal manera que:

- Facilite la labor de recolección por parte de los municipios.
- Se evite la generación de problemas ambientales: malos olores, vectores, impacto visual.

En los países desarrollados, en particular Francia, existe una reglamentación clara en lo que a almacenamiento se refiere. Con respecto a los recipientes para contener las basuras, por ejemplo, se establece en el reglamento sanitario departamental, que: "...deben ser estancos, cerrados, insonoros, constituidos por materiales impermeables y provistos de un sistema de cierre que impida el acceso de moscas, roedores y otros animales. Los recipientes deben mantenerse en estado de limpieza. En los inmuebles de habitaciones colectivas se ponen a diario a disposición de los inquilinos por el propietario..."(Ref.#2). A esto habría que agregar la determinación del volumen, tamaño, altura o diámetro adecuados del recipiente.

B) Escogencia de vehículos recolectores apropiados. Es importante determinar la capacidad que deben tener los camiones recolectores, puesto que incide sobre los costos. Un vehículo de menor capacidad, obviamente requeriría mayor cantidad de recorridos que un vehículo grande, para recoger la basura en determinada comunidad. Aquí se deben tomar en cuenta las economías a escala.

Se debe determinar paralelamente, qué tipo de vehículo es el más apropiado. Unda (REF.#52), señala que se pueden diferenciar tres tipos de vehículo: camión abierto, camión cubierto y camión con compactación. El primero no es el más apropiado, puesto que puede darse el esparcimiento de basuras, problema que no está presente en el camión cubierto. El más apropiado, es el camión con compactación mecánica, puesto que permite aumentar su capacidad.

Las cualidades que, en general, debe tener un vehículo de recolección (REF.#2):

- a) Rapidez de absorción de basuras.
- b) Llenado máximo y facilidad de vaciado.
- c) Tolva de carga que permite asegurar las operaciones de volcado de los recipientes fácilmente y en las mejores condiciones de higiene.
- d) Funcionamiento silencioso.
- e) Manejabilidad máxima de circulación.
- f) Condición de estanco, facilidad de mantenimiento y de lavado.
- g) Reparto correcto de las cajas sobre los ejes.
- h) Seguridad.
- i) Estética.

C) Diseño de las rutas de recolección. Lo que se pretende es disminuir al máximo la posibilidad de que los camiones y el personal, recorran calles en las que no realicen alguna labor productiva. Los datos que hay que conocer son, la cantidad y ubicación de los puntos de generación, los volúmenes de basura y las distancias a recorrer.

Estas variables se analizan, para obtener el recorrido óptimo, para lo cual ya se utilizan computadores en los países desarrollados (REF.#22). Incluso ya se han desarrollado algoritmos para el diseño de rutas con el fin de minimizar la longitud del viaje (REF.#7).

Entre algunas de las reglas básicas para el diseño de rutas, que señala Gálvez von Collas (REF.#10), tenemos:

- El diseño de rutas trata de aumentar la distancia productiva en relación a la distancia total.
- Los recorridos no deben fragmentarse ni traslaparse.
- El comienzo de una ruta debe estar cerca del garaje y el término cerca del lugar de disposición.
- En lugares con colinas o fuertes desniveles del terreno, el recorrido debe procurar hacerse desde la parte alta hacia la baja.
- En lo posible, hay que tratar de recoger simultáneamente la basura de ambos costados de la calle.
- Debe respetarse el sentido de circulación.
- Calles con mucho tránsito deben recorrerse en las horas en que este disminuye.

D) Determinación de los tiempos y frecuencias de recolección. El tiempo que tarda un vehículo en recolectar la basura de una calle depende de varios factores, entre ellos: la forma en que se almacenan los desechos, el peso y volumen total a retirar, las características de la vía, la longitud de la calle, etc.

Una vez que se han tomado en cuenta todos los factores anteriores para calcular el tiempo total de recolección, se deben establecer las frecuencias. El periodo máximo entre las recogidas está dado por tres factores fundamentales (REF.#52):

- a) tiempo para que la producción de desperdicios pueda almacenarse en un depósito de dimensiones convenientes,
- b) tiempo que tarda la basura en producir olores desagradables en condiciones medias de temperatura de la región en verano o en invierno,
- c) ciclo de desarrollo de la mosca.

E) Administración del elemento humano. Es importante determinar cuál será el tamaño de la cuadrilla de recolección, incluido el chofer. Los factores a tomar en cuenta para esto, son los mismos que se enumeraron en el punto anterior.

F) Determinación de costos. Como se mencionó anteriormente, este aspecto es muy importante para la realización de evaluaciones económicas del Sistema. Los costos más importantes son los de mano de obra y los de operación.

G) Barrido de calles. Se deben preparar los itinerarios para el barrido de calles, que por lo general se realiza en forma manual en las ciudades de América Latina. Los pasos para conseguir esto son:

- a) Determinar las zonas para barrido manual en un plano de la ciudad.
- b) Clasificar las zonas y determinar la frecuencia requerida del barrido manual.
- c) Subdividir la zona de barrido en sectores.
- d) Establecer los puntos de inicio y término, y de ubicación de los recipientes plásticos.
- e) Diagramar itinerarios tratando de minimizar el recorrido no productivo.

En resumen, los estudios que deben hacerse para un buen manejo del subsistema de recolección, son de muy diversa índole, y requieren de ingeniería aplicada. Sobre este tema, se pueden realizar numerosos trabajos de evaluación e investigación, debido a su amplitud, e influencia sobre los otros componentes del Sistema.

#### **2.2.4. TRATAMIENTO.**

Los métodos de tratamiento de desechos sólidos, son: incineración, compost o digestión bacteriana y relleno sanitario. Más adelante en este apartado, se dará una definición y breve explicación de estos métodos, excepto el relleno sanitario, del cual se hablará en un capítulo aparte. Una definición de disposición simple de desechos sólidos es: "deposición de los residuos sin que se obtenga ningún producto que genere beneficios económicos" (REF.#38). Técnicamente, el compostaje no se incluiría dentro de los métodos de disposición simple, ya que se obtiene un producto útil, el humus. Sin embargo, todavía no se le ha llegado a obtener un gran mercado. En gran cantidad de países desarrollados, y en algunos de América Latina, ya se utiliza esta técnica.

En el presente, el relleno sanitario es el más simple, económico y popular método de tratamiento. Pese a esto, en muchas ciudades del mundo, se utilizan métodos de disposición final inconvenientes por su impacto en el ambiente, lo que tiene como una consecuencia, la propagación de enfermedades. Entre estos se pueden citar: la disposición a cielo abierto ("open dump"), la alimentación de cerdos y la disposición en el mar y otros cursos grandes de agua. La primera produce un gran impacto ambiental, al contribuir a la proliferación de ratas, cucarachas y otros vectores, y sobretodo, por su acción contaminante del recurso hídrico. Estas, son razones de más, para eliminar la práctica de botadero a cielo abierto. Con respecto a la alimentación de puercos con basura, Salvato (REF.#43) señala que debe tener una supervisión cuidadosa, puesto que se pueden transmitir al hombre virus como triquinosis o cólera. La utilización del mar para disponer los desechos sólidos, se practica en los Estados Unidos. Sin embargo, los estudios tendientes a evaluar cada proyecto de este tipo, tomando en cuenta la localización del sitio, el material a depositar y el impacto sobre el medio ambiente marino, comenzaron apenas a principios de la década de los 70 (REF.#24).

#### **2.2.4.1. INCINERACION.**

Mantell (REF.#24), señala que de los tres tipos de disposición final, la incineración es la de mayor frecuencia, superada por el relleno sanitario: se emplea en el 20% de las ciudades norteamericanas de más de 25000 habitantes. La definición de incineración es la siguiente: es el proceso controlado de combustión para la reducción de desechos combustibles (sólidos, líquidos y gaseosos), principalmente a dióxido de carbono, otros gases y residuos incombustibles. El residuo se deposita usualmente en un relleno sanitario, después de la recuperación de algunos materiales valiosos; mientras que los gases son liberados a la atmósfera (REF.#38).

Entre las ventajas de la incineración, están: se requiere mucho menos área de terreno que en el caso de rellenos sanitarios; la ubicación de un incinerador en una ciudad, no representa ninguna dificultad, si la instalación es manejada cuidadosamente; un incinerador puede producir un residuo de cenizas que contenga pocos materiales orgánicos y sean más aceptables como material de relleno (REF.#16).

La mayor desventaja consiste en la gran inversión de capital que requiere un incinerador. Se deben tomar todas las medidas para evitar la contaminación del ambiente con los gases y partículas productos de la combustión.

#### **2.2.4.2. COMPOST.**

El proceso de compost consiste en la descomposición controlada de la materia orgánica en un ambiente cálido, húmedo por medio de la acción de bacterias, fungi u otros organismos. La humedad debe mantenerse en un rango de 40 % a 65 %. Los factores que deben considerarse son: composición de la basura, la disposición de los residuos que no son procesados, la demanda, el control y la producción de olores, la aceptación del público y el costo total. El compost es un buen condicionador del suelo pero es un fertilizante pobre.

Uno de los métodos de compost es el Beccari (REF.#43); en el cual la basura es depositada en tanques cerrados herméticamente y se digieren anaeróticamente por 10 días, y luego en presencia de aire por espacio de 10 a 20 días. El drenaje se recoge al pie del tanque, y se recircula sobre la basura si se necesita mantener la humedad. Sin embargo, existen otras técnicas más sencillas de compostage, tal y como las que se realizan en algunos países de América Latina. En Lima, el Municipio de uno de los distritos administra un terreno donde se lleva a cabo la técnica, utilizando las basuras de los mercados. Diariamente se forman hileras de basura apilada de 1.0 a 1.5 metros de altura, una a continuación de la otra. Antes, se hace la separación y el almacenamiento de la parte inorgánica. Todo el material orgánico es cortado manualmente en trozos de más o menos 10 centímetros. El montón se forma haciendo capas de 30 cm entre las cuales se va rociando cal. Al terminar se tapa con maleza para evitar pérdidas de humedad por la acción del sol. Durante los tres meses que dura el proceso cada hilera es volteada tres veces: luego de 2,5 y 8 semanas. Finalmente la masa es tamizada con una malla de 1/2 pulgada, el material que pasa es el compost, el que queda es recolocado en las hileras (REF.#1).

#### **2.2.5. RECUPERACION DE RECURSOS EN EL SISTEMA.**

Los métodos de disposición final de desechos, operados de una manera adecuada, son una buena medida para evitar un impacto negativo fuerte sobre el ambiente. Por otro lado, desde el punto de vista económico, en particular los rellenos sanitarios, son una buena opción para cualquier población. Sin embargo, muchos desechos que son eliminados, podrían ser recuperados y reciclados. La mayoría de los residuos de vidrio, papel, metal, cartón, etc, pueden ser puestos en circulación de nuevo, al separarlos de los desechos que sí deben ir al relleno. Un plan para el manejo del sistema de desechos sólidos en nuestro país, debe incluir un programa de recuperación de recursos: materiales o energéticos provenientes de los desechos.

Las estrategias alternativas que se pueden establecer en la recuperación de recursos se pueden clasificar en cuatro áreas :

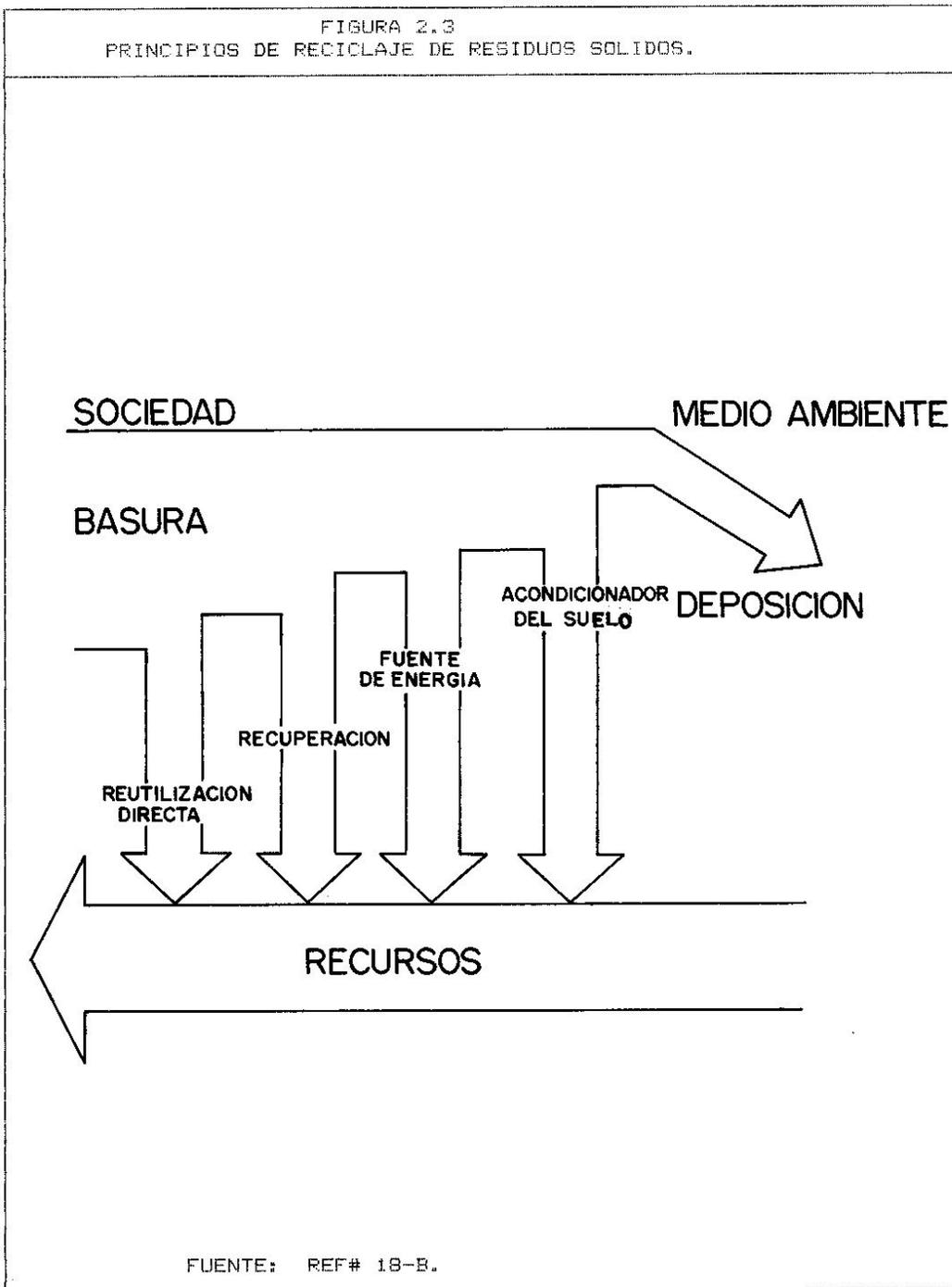
- Recuperación de materiales.
- Recuperación de energía.
- Recuperación de terrenos.
- Combinación de las anteriores.

Weitzenfeld (REF.#56) agrega que los productores y usuarios de los bienes materiales, disponen de siete estrategias principales de conservación de recursos. Estas estrategias, que involucran componentes socio-económicos y políticos, así como innovaciones tecnológicas, son:

1. Fabricación y empleo de menor cantidad de productos.
2. Fabricación de productos más durables o reutilizables.
3. Fabricación de productos de mayor rendimiento energético.
4. Uso de los productos durante más tiempo.
5. Fabricación y empleo de productos más livianos: empleando menos material.
6. Sustitución por materiales de menor consumo de energía en la producción.
7. Reutilización de los desechos.

En la figura #2.3 se ilustran los principios de reciclaje de los desechos sólidos.

FIGURA 2.3  
PRINCIPIOS DE RECICLAJE DE RESIDUOS SOLIDOS.



FUENTE: REF# 18-B.

### **2.2.5.1. RECUPERACION DE MATERIALES.**

En los países desarrollados la recuperación de los materiales desechados en las industrias, es mayor que la recuperación de los desechos domésticos. Sin embargo, en nuestros días, se ha venido acentuando la importancia de reciclar estos últimos, con la finalidad de obtener ciertos beneficios, siempre desde el punto de vista ambiental y económico. En el plano económico, se procura disminuir los costos de tratamiento al disminuir el volumen de desechos eliminados. En el plano ambiental, interesa disminuir la contaminación potencial, al disminuir la cantidad del flujo de desechos al ambiente, y reutilizar los materiales ya procesados en lugar de materia prima. La reutilización de materiales desechados, incluso puede hacerse en otras actividades como la construcción. Por ejemplo, la reutilización de desechos de vidrio y hule, es una práctica en EEUU y Canadá, como agregados en la base de los pavimentos y agregados en concretos de cemento Portland (REF.#36).

Hay tres aspectos importantes que se deben diferenciar: el reciclaje directo, las técnicas de preparación para la separación de los residuos y la separación propiamente dicha(REF.#38). Estos dos últimos cuando el reciclaje no es directo.

#### **A) Reciclaje directo.**

Hay dos clases de reciclaje directo: el reciclaje in situ y la separación voluntaria.

El reciclaje in situ es el que se realiza en las mismas industrias que procesan los materiales. Lo que se procura es desperdiciar lo menos posible en los procesos de manufactura. Por ejemplo, en los metales, los restos que han quedado luego de un proceso de corte o guillotinado, pueden ser fundidos en el horno para ser reutilizados. En el caso de los plásticos, los restos que quedan en la fabricación de algún artículo, pueden ser reprocesados y utilizados para el mismo fin.

La separación voluntaria, por parte de los consumidores, de los materiales que pueden ser reutilizados, es una práctica ventajosa. Resulta mucho más costoso separar los residuos una vez mezclados, que hacerlo desde el hogar o el sitio de generación.

#### B) Preparación para la separación.

El paso previo fundamental para la utilización de técnicas de separación, es la reducción del tamaño de los residuos. La mayoría del equipo que se utiliza hoy en día para la separación de residuos, requiere que el material a tratar sea en lo posible, homogéneo en tamaño. El proceso de reducción de tamaño de la basura sólida se conoce por varios nombres, por ejemplo: trituración, molienda, cizallamiento, desgarramiento, pulverización, desfibrado, compresión, etc; pero el término más comúnmente usado es el de trituración. Existe una gran variedad de equipos para la reducción del tamaño, entre los cuales los más conocidos son: el molino de martillos para todo tipo de material, la picadora (para papel y cajas de plástico), el hidrodisegregador (para desechos transformables a pasta), las moledoras (para material quebradizo o desmenuzable), cizalladoras (para madera y metales dúctiles), el molino raspador y el molino de cadenas (REF.#48)

#### C) Métodos de separación.

Las técnicas usadas corrientemente en la separación de materiales se basan en las características físico-químicas de las basuras una vez trituradas. La separación del material deseado se logra gracias a la respuesta dada por este, ante determinada sollicitación. Las características en que se basan estas técnicas son: el tamaño de la partícula, el peso específico, el electromagnetismo, la conductividad eléctrica, el color, etc.

En la separación magnética, los materiales se adhieren a un magneto colocado dentro de un tambor. La separación neumática, toma en cuenta la densidad relativa de los materiales, en el aire; el cual al ascender dentro de un conducto, arrastra consigo a los componentes más livianos. El cribado se basa en el tamaño de las partículas; se utilizan cribas rotatorias o tambores, que al girar, permiten el paso de ciertos materiales dependiendo del tamaño de los agujeros. Otros

separadores, son los desarrollados por densidad en húmedo, como son las clasificadoras hidráulicas (jigs), separadores de corriente ascendente (rising current), separadores en medio denso (heavy media) y celdas de flotación con espuma, todas estas técnicas se valen de las características de flotación de algunos materiales (REF.#48).

### **2.2.5.2. RECUPERACION DE ENERGIA.**

La recuperación de energía se puede realizar por medio de algunas técnicas:

A) Una de ellas es convertir la basura en combustible. La basura municipal en el Area Metropolitana de San José tiene un poder calorífico (energía) de 16,35 MJ/Kg (Ref.#18). Se puede triturar y desfibrar la basura para luego quemarla como un combustible suplementario en una caldera. Cuando se utiliza como un combustible suplementario, los efectos corrosivos y las emisiones particulares de los desechos, son diluidos por el combustible primario.

B) La pirólisis, aplicada a los desechos sólidos (excepto metales y vidrios), es un proceso experimental termoquímico, para la conversión de sólidos orgánicos, en ausencia de oxígeno, en agua, y gases combustibles que tienen un valor energético importante.

C) La recuperación del gas metano, en un relleno sanitario, es otro método de recuperación de energía. El metano se produce cuando las bacterias anaeróbicas se encuentran activas. Estas condiciones pueden alcanzarse en 6 meses o 5 años dependiendo del relleno. Las condiciones que afectan el proceso son: el grado de acidez, que inhibe el crecimiento de las bacterias, la cantidad y tipo de material degradable, contenido de humedad, permeabilidad y temperatura. Algunas de estas variables son consideradas por Young (REF.#57), en el desarrollo de un modelo matemático para determinar los flujos del gas en un relleno sanitario. Por su parte, Hartz et al.(REF.#14), establecen los efectos de la variación de la temperatura en la producción de metano.

### **2.2.5.3. RECUPERACION DE TERRENOS.**

La recuperación de terrenos del mar mediante diques, ha sido practicada por algunos países, como Holanda, utilizando técnicas de alta ingeniería. Se han obtenido también, extensiones de tierra, que antes estaban cubiertas por las aguas de un lago o mar, mediante el relleno con desechos sólidos.

Legget y Karrow (REF.#20) mencionan el caso de la ciudad costera de Portsmouth, Inglaterra. En ella, un área de 164 ha. conocida anteriormente como el Lago Paulsgrove, situada cerca de la isla Hornsea, ha sido encerrada mediante la construcción de muros de contención hechos de material excavado de una colina cercana. Los desechos sólidos están siendo depositados en el sitio, bajo condiciones controladas. Se estima que podrá contener más de 2.2 millones de toneladas de basura, pero se están haciendo planes para instalar también un incinerador, el cual produce residuos menos voluminosos, por lo que la vida útil podrá ser ampliada de los 20 años originales a 50 años. Además de ganar 161 ha. de nueva tierra útil, este sitio de disposición, permitirá la construcción de nuevos accesos a la ciudad de Portsmouth mediante carreteras.

### **2.3. TRANSPORTE DE DESECHOS SOLIDOS: ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.**

El transporte de los desechos hacia los sitios de tratamiento se realiza en los mismos camiones recolectores, en las ciudades pequeñas. Es conveniente considerarlo un componente más del Sistema de Desechos Sólidos, cuando la distancia desde el punto de término de la recolección hasta el sitio de disposición final, es grande. A partir de cierto límite, pasa a ser conveniente entonces el trasbordo o transferencia de la basura. Otros medios de transporte, como el marítimo y el ferroviario son utilizados en algunas ciudades como Lisboa, París, New York, Sao Paulo, desde el siglo pasado (REF.#5).

Cuando el punto al que deben llevarse los residuos para su posterior eliminación o tratamiento está bastante distante del lugar en que se efectúa la recogida de los mismos, puede no ser conveniente realizar con los vehículos utilizados en la recogida, el transporte en todo su recorrido, sino que es preferible, por el contrario, establecer una estación intermedia en la que dichos vehículos descarguen su contenido. Las estaciones de transferencia son las instalaciones en donde se hace el traslado de basura de un vehículo recolector a otro vehículo o contenedores con mucha mayor capacidad de carga. Este segundo vehículo es el que lleva la basura hasta su destino final.

### **2.3.1. FINALIDADES Y VENTAJAS.**

La dificultad cada vez creciente, de encontrar sitios para la disposición final cercanos a los centros urbanos, es una de las razones por las que las estaciones de transferencia son analizadas. El objetivo básico de las estaciones de transferencia es incrementar la eficiencia global del servicio de recolección a través de la economía en el sistema de transporte y en la disminución del tiempo ocioso de la mano de obra empleada. Se evitarían los viajes excesivamente largos al lugar de disposición los cuales se traducirían en tiempo improductivo para la cuadrilla y el equipo recolector (REF.#11).

Algunas otras ventajas son (REF.#5):

- A) Aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores puesto que estos no necesitan transitar por los caminos del relleno sanitario.
- B) Utilización más racional de la flota de recolección por la existencia de balanzas en las estaciones. La toma del peso de todas las cargas de los vehículos permite una distribución mejor de las rutas de recolección, además de evitar sobrecargas que pueden dañar el equipo.
- C) Posibilidad de solución conjunta para disposición final de más de una municipalidad.

- D) Los cambios en los sitios de disposición final de residuos no interfieren con las rutas, procedimientos y horarios de recolección.
- E) Las estaciones de transferencia pueden adaptarse para incluir sistemas de aprovechamiento de residuos para reciclaje.

Los problemas más comunes que se presentan en sistemas con estaciones de transferencia son (Ref.#11):

- A) Dependencia del sistema de recolección en el sistema de transferencia. Las fallas en los equipos electromecánicos de la estación o en los vehículos de transferencia pueden resultar en serios problemas para el servicio de recolección, principalmente en el caso de estaciones sin almacenamiento.
- B) Reclamos de los vecinos por olores, fluidos, ruidos y polvaredas provocados por el funcionamiento de la estación. La ubicación ideal es el centro de las zonas de recolección, lugar generalmente cercano a las residencias.
- C) Los rellenos sanitarios y sus accesos deben estar preparados para recibir vehículos de grandes dimensiones.

### **2.3.2. TIPOS DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.**

Las estaciones de transferencia se clasifican de acuerdo a varios aspectos: el equipo de transferencia que se emplee, la operación de carga y el procesamiento a que se sometan los residuos.

#### **2.3.2.1. CLASIFICACION SEGUN EL EQUIPO DE TRANSFERENCIA.**

El transporte suplementario puede ser rodoviario, ferroviario o acuático. Los primeros son los de mayor utilización en América Latina.

#### A) Equipos rodoviaros.

Los de carrocería abierta son del tipo trailer (semi-remolque) con cajas de hasta 75 m<sup>3</sup> y capacidad de transporte de 30 toneladas de residuos. Estos camiones reciben la carga por arriba y la descargan por diferentes métodos, como el volquete por medio de equipo hidráulico. Están dotados de aparatos para cerrar la parte superior a fin de impedir la dispersión de residuos por la calle.

Los de carrocería cerrada se utilizan en estaciones dotadas de equipo compactador que colocan la basura por la puerta trasera del vehículo. Tienen una capacidad de 50 m<sup>3</sup>, y pueden transportar hasta 30 toneladas de basura compactada. La descarga se hace por medio de una placa de eyección impulsada por un cilindro hidráulico telescópico.

#### B) Equipos ferroviarios.

Este tipo de equipo se utiliza en lugares donde existe una red ferroviaria bien desarrollada y los recorridos de transporte sean muy largos. Los vagones empleados son de gran capacidad volumétrica y dispositivos especiales para descarga. En Holanda la empresa VAM (Vuil Afvoer Maatschappij), posee diversas estaciones de transferencia de este tipo. En cada estación los vagones se cargan con basura durante el día y por la noche se forma una composición ferroviaria que lleva todos los vagones llenos hasta la ciudad de Wijster, en donde hay una planta de tratamiento y un relleno sanitario.

Otras instalaciones modernas de transporte por vía férrea son la de Brentford en Londres y Omaha en Nebraska (REF.#41). La estación de Brentford tiene capacidad para recibir hasta 800 ton/día de basura proveniente de distritos de la Gran Londres. Los vehículos son pesados al entrar en la estación y se dirigen al área de descarga a través de una rampa. Esta área, totalmente cerrada, posee diez locales para vaciamiento con un sistema de señalización a distancia que indica en donde debe descargar cada camión. Cada una de las áreas de vaciamiento posee un compactador que compacta la basura dentro de contenedores de acero de dimensiones estándar (8x8x20 pies) con capacidad para doce toneladas de residuos.

Después de llenos los contenedores son desacoplados de los compactadores y transportados por medio de equipos especiales hasta vagones ferroviarios tipo plataforma. Cada vagón recibe tres contenedores y el tren total es de 20 vagones que llevan la basura hasta el relleno sanitario de Oxfordshire, a 80 Km de la estación. El costo de la estación, incluyendo contenedores, fue de cinco millones de libras esterlinas y el costo de operación en 1979 ascendió a 11,5 libras esterlinas por tonelada recibida, incluyendo la transferencia, el transporte y el relleno sanitario.

La estación de Omaha, transfiere la basura en forma de fardos. La instalación está formada por dos líneas paralelas, una es una prensa de alta tensión destinada a residuos industriales, comerciales y voluminosos, los cuales son amarrados con una cinta. La otra es una prensa de menor capacidad para basura domiciliar, y los fardos son amarrados con un alambre de acero.

### **2.3.2.2. CLASIFICACION SEGUN LA OPERACION DE CARGA.**

Hay dos tipos de operación de carga: directa e indirecta.

#### **A) Carga directa.**

En estas instalaciones el contenido de los camiones recolectores se descarga directamente en vehículos de transferencia. El sistema más simple de transbordo consiste en una plataforma elevada la cual tiene acceso por una rampa. La basura es descargada por los recolectores y por gravedad es transferida a barcazas, camiones o góndolas. No existe ningún mecanismo para compactar ni acomodar los residuos. Tienen la desventaja de no poder almacenar basura, lo que exige que siempre haya un vehículo de transferencia en condiciones de recibir los residuos de los recolectores. Si el recolector llega a la estación y no hay vehículo de transferencia para recibir la basura, debe esperarse hasta la llegada de uno vacío. La ventaja es que pueden ser muy simples y los costos de inversión muy bajos.

## B) Carga indirecta.

Estas estaciones tienen locales para almacenamiento que pueden ser fosos o patios. Los fosos de acumulación están acompañados por algún mecanismo de compactación y evitan la formación de filas de vehículos recolectores en la estación de transferencia, ante el posible retraso de los vehículos transportadores o ante una posible desorganización en los horarios de recolección. El tipo de foso depende de la manera en que se lleve a cabo la transferencia. Puede ser un foso simple, amplio, de concreto, en el cual se pueden acumular por un periodo de hasta 24 horas, las basuras que van a ser tratadas y transferidas (REF.#41). Pueden tener un sistema de fondo móvil con correas transportadoras que lleven la basura a una altura que permite cargar los vehículos de transferencia. Se pueden utilizar también puente-grúas, o grúas con cargador tipo almeja para remover los residuos. También se utilizan placas de empuje ("push pit"), que se emplean con prensas compactadoras y su accionamiento es hidráulico. La desventaja de estas instalaciones es la posibilidad de fallas electromecánicas.

### **2.3.2.3. CLASIFICACION SEGUN EL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS.**

Dependiendo de las características de la basura, y del tipo de vehículo de transferencia, los residuos pueden ser o no ser procesados.

#### A) Sin procesamiento.

En estas estaciones la basura no sufre ningún procesamiento salvo la compactación recibida en los camiones recolectores cuando estos son compactados, y por lo tanto es transferida en su estado original. Son muy utilizadas por la simplicidad de su construcción y operación, bajo costo inicial de las construcciones y de los vehículos de transferencia. Su empleo es usualmente la mejor alternativa cuando la basura es de media o alta densidad (400 Kg/m<sup>3</sup>). En la mayoría de las ciudades de América Latina se presenta esta condición después de compactada la basura en los camiones de recolección.

## B) Con procesamiento.

El procesamiento de los residuos en las estaciones de transferencia tiene dos objetivos: aumentar la densidad de la basura para utilizar con más eficiencia la capacidad de transporte de los vehículos de transferencia y; aprovechar la operación de traslado para hacer la selección de la basura y así aprovechar los materiales reciclables. Los métodos de procesamiento más empleados son la compactación, la trituración, el enfardamiento y la selección de materiales.

La compactación se puede realizar por medio de compactadores en la estación o por equipos montados en el propio vehículo de transferencia. En el primer caso, la basura es colocada en el vehículo por la parte posterior de su caja, que tiene una puerta operada manual o hidráulicamente. Esta caja se acopla a la prensa compactadora por medio de garras mecánicas. En el segundo caso, cuando la compactación es efectuada por equipos instalados en el propio vehículo de transferencia, la basura se coloca por una abertura en la parte superior de la caja y la compactación se realiza por medio de la placa de eyección de la basura, que compacta los residuos contra la puerta trasera, que está cerrada. Esta misma placa de eyección sirve para expulsar la basura en el relleno sanitario.

La trituración se efectúa por medio de molinos. La basura triturada tiene características menos agresivas y es más fácil de disponer en rellenos sanitarios. El enfardamiento consiste en compactar la basura en bloques colocándoles cintas para mantenerlos coherentes, y tienen como principal ventaja la utilización de vehículos con carrocería de tipo plataforma. En una estación de transferencia con selección de materiales, se transportaría sólo la fracción no aprovechable, y además se obtendrían ingresos a partir de la venta de los materiales recuperables.

### **2.3.3. METODOLOGIA PARA EL PLANEAMIENTO Y PROYECTO DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.**

A continuación se explicará la metodología que debe utilizarse para el planeamiento y proyecto de estaciones de transferencia.

#### **2.3.3.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION.**

Las informaciones más importantes que deben tenerse son:

A) Producción y características de los residuos.

Cantidad producida y recolectada en diferentes zonas de la ciudad y proyecciones para el periodo de vida de la estación. Características: densidad, humedad, y si es posible composición.

B) Servicio de recolección.

Número y tipo de recolectores. Su capacidad y características como el sistema y tiempo de descarga.

C) Sistema de disposición de los residuos.

Ubicación actual y futura de los sitios de disposición final y los métodos utilizados. Investigar la existencia de mercados para los objetos recuperables.

D) Sistema vial y zonificación.

Conocer el sistema vial de la ciudad, en particular los caminos por donde transitarán los vehículos de transferencia. Indicar en un mapa las características de las vías y los tiempos de recorrido. Conocer los planes de zonificación de la ciudad.

E) Elementos económico-financieros.

Son los exigidos para el análisis de costo/beneficio. Entre los elementos más importantes están los costos de mano de obra, transporte, construcción civil y de equipos y vehículos de transferencia. También es importante determinar la cantidad de recursos financieros disponibles.

F) Normas, leyes y reglamentos.

Las que interesan en este caso son las relativas al tráfico de vehículos (dimensiones y peso de los camiones, p.e.), contaminación ambiental(ruidos, olores, polvo, etc.), y a las construcciones de modo general.

G) Ubicación de los centros de gravedad de las zonas de recolección.

La construcción de las estaciones de transferencia debe hacerse lo más cerca posible del centro de gravedad de las ciudades tributarias de desechos. Este centro de gravedad es el final de todos los recorridos y origen del viaje al relleno u otro sitio de disposición. El método que se explicará, exige la definición de las áreas de recolección y su correspondiente producción. Se establecen libremente dos ejes cartesianos X y Y, y se determinan los momentos de transporte de cada una de las áreas. Se multiplica la distancia de los centros de gravedad de cada área productora por la cantidad de basura respectiva. Los momentos resultantes, divididos por la cantidad total de basura recolectada serán las coordenadas del centro de gravedad de toda la área.

A,B,C - Cantidades de basura recolectada.

a,b,c- Distancia al eje Y.

a',b',c'- Distancia al eje X.

$$X = (Aa+Bb+Cc)/(A+B+C) \quad Y = (Aa'+Bb'+Cc')/(A+B+C)$$

X,Y= Coordenadas del centro de gravedad.

H) Ubicación y características de los terrenos disponibles.

Se investiga la existencia de terrenos cercanos a los centros de gravedad que puedan ser utilizados para la construcción de estaciones de transferencia. Investigar propiedad, precios, características de los terrenos, accesos.

I) Toma de decisiones.

Se selecciona el sitio, se define el tipo de estación y su capacidad de recepción de residuos.

### **2.3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES.**

Los elementos principales a dimensionar son los siguientes:

A) Vehículos de transferencia: número.

Es necesario mencionar dos casos distintos:

i) Cuando no hay sistema de acumulación, los factores a considerar son: cantidad de basura diaria, capacidad de los vehículos de transferencia, tiempo de ida y vuelta de la estación al relleno, tiempo de carga, horario de los recolectores, siempre que un vehículo recolector llegue a la estación debe haber un vehículo de transferencia y; ii) cuando sí hay acumulación se toman en cuenta los mismos factores excepto el último. Las horas de trabajo en la estación pueden ser diferentes al horario normal de recolección.

B) Area de maniobra y descarga.

Debe tener en cuenta los siguientes factores: radio de giro de los camiones de recolección, maniobras necesarias para que se coloquen en posición de descarga, número de camiones que descargan simultáneamente.

C) Equipos de compactación y alimentación.

Las dimensiones de los equipos de la estación se definirán en función de la cantidad de residuos que deben cargarse en los vehículos de transferencia por unidad de tiempo.

### **2.3.3.3.DETERMINACION DE EQUIPOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIOS.**

A) Mantenimiento.

Taller electromecánico, equipos y herramientas para reparación de neumáticos, etc.

B) Comunicación.

Intercomunicadores, radios, semáforos.

C) Control de contaminación.

Controles de olores, polvaredas y ruidos.

D) Oficinas e instalaciones para los empleados.

### **2.3.4. ANALISIS DE COSTOS.**

O'Regan y Sakurai (REF.#33), enfatizan en que el establecimiento de una estación de transferencia debe hacerse con el fin de minimizar los costos globales del servicio de aseo: su uso se justifica si el costo total de recolección, transferencia y disposición final es menor que el costo total de recolección, acarreo directo y disposición final. Aunque la obtención de un costo menor, es un factor muy importante en la decisión de construir una estación, no es la única condición. Schaper (REF.#44), indica otros aspectos que condicionan su utilización, como la disponibilidad de un sitio adecuado y la consecución de fondos financieros, por lo

que el planeamiento debe hacerse tomando en cuenta no sólo la economía, sino también la política y el medio ambiente. Señala también que incluso, en algunos casos la flexibilidad de una estación y los beneficios asociados a ello, justificaría un costo mayor que el acarreo directo al sitio de disposición (REF.#46).

Se puede hacer un análisis para determinar la distancia a partir de la cual, los costos de transporte con los vehículos recolectores, comienzan a ser mayores que los costos de transporte con medios de mayor capacidad. La figura #2.4 ilustra el procedimiento. El eje vertical indica costo por tonelada de basura y el horizontal, el tiempo de viaje en minutos (también puede ser distancia en kilómetros considerando una velocidad media). Las pendientes de las dos rectas indican los costos de transporte unitario, por tonelada y por minuto. Como se observa, en el caso del vehículo de transferencia la pendiente es menor, pero hay que agregar los costos de la planta y del tiempo improductivo de carga y descarga. De esta manera, las rectas se cortan en un punto, que indica el tiempo de viaje a partir del cual los costos de transporte directo en camiones recolectores, son mayores que el uso de transferencia (REF.#37).

## **3 METODOLOGIA PARA LA BUSQUEDA DE UN SITIO DONDE UBICAR UN RELLENO SANITARIO**

### **3.1.DEFINICION DE RELLENO SANITARIO.**

En el método de relleno sanitario, la basura debe ser vertida en el frente de trabajo, compactada y recubierta con tierra, lastre u otro material. La definición dada por la American Society of Civil Engineers (REF.#24), es la siguiente: "es un método para la disposición final de basuras en el suelo sin detrimento del ambiente, sin causar molestias y sin provocar peligros para la salud y seguridad públicas, utilizando principios de Ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible a la vez que reducirlas al volumen más pequeño que sea practicable, y cubrirlas con una capa de tierra diariamente."

El término relleno sanitario proviene de la traducción del término utilizado en EEUU, "sanitary landfill"; pero también se ha adoptado (en algunos países de habla hispana), la expresión vertedero controlado, que es un intento por traducir la expresión usada en Inglaterra: "controlled tipping". Según una definición de este último término, un relleno está controlado cuando se han tomado las disposiciones para que su espesor, compacidad y una cobertura de tierra permitan realizar en buenas condiciones una fermentación aeróbica rápida de las basuras y conserve malas condiciones para la reproducción de insectos y subsistencia de ratas (REF.#2).

El relleno sanitario es el método más simple de disposición final. Es el más aceptable desde el punto de vista económico, puesto que los costos totales de tratamiento de desechos son bajos, en comparación con la incineración o el compost. El impacto de este método sobre el medio ambiente, puede ser mitigado al máximo, si se toman las medidas adecuadas en la construcción de las instalaciones y en su operación. Estos dos factores: medio ambiente y economía son determinantes en la decisión de utilizar los rellenos sanitarios en América Latina. Argentina, Brasil y Chile se encuentran en la vanguardia en lo que a estudios y puesta en práctica de este método se refiere. Los ingenieros de Puerto Rico y México también han

realizado algunas investigaciones, pero en Costa Rica el método no se utiliza debidamente. Río Azul, que debería operar como un relleno sanitario controlado, no satisface todos los requerimientos expresados en las definiciones dadas más arriba.

## **3.2.IMPACTO AMBIENTAL.**

### **3.2.1. LOS DESECHOS SOLIDOS Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE.**

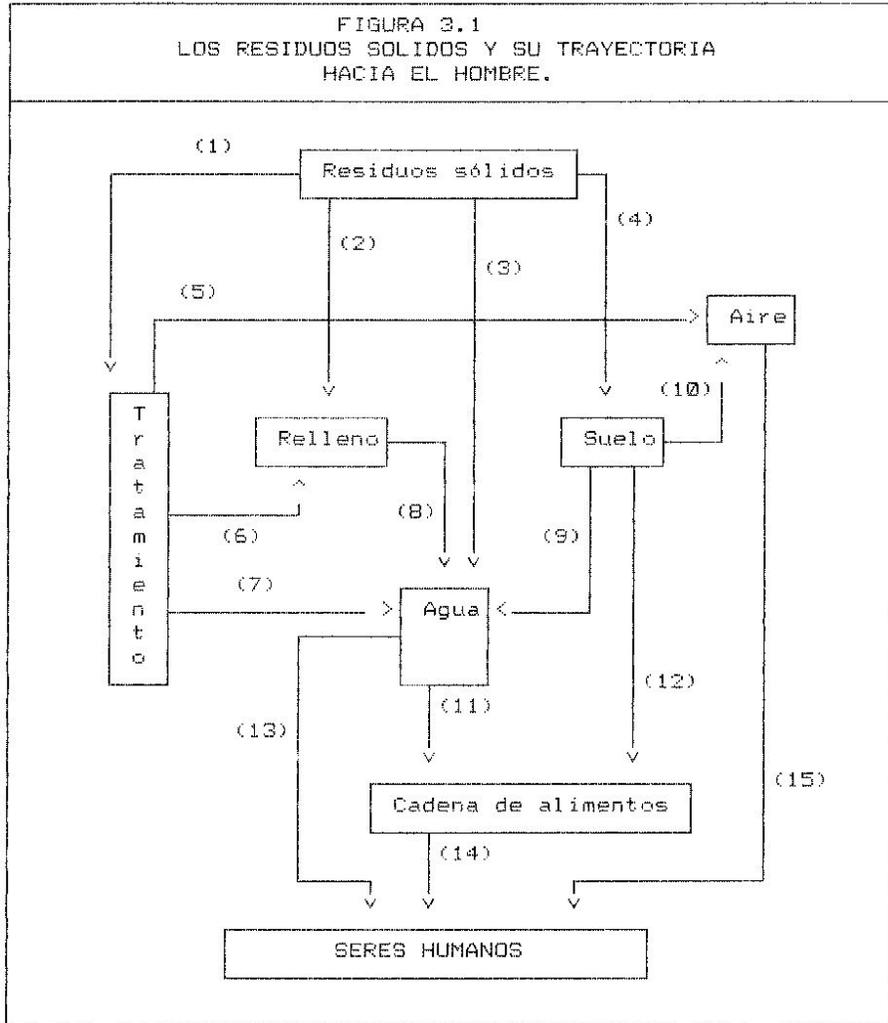
Si no se recolectaran periódicamente, los desechos sólidos causarían muchas molestias a las personas. Por ejemplo, la acumulación de basuras en las aceras provocaría la proliferación de la mosca, cuyo periodo de incubación es de 3 días. La producción de olores desagradables es otro impacto importante en el medio en que se desenvuelve el ser humano. El peligro de contaminación no se elimina al retirar las basuras del lugar de generación. Si posteriormente los desechos son vertidos en los cauces de los ríos, el deterioro de la calidad de las aguas limitará los usos que se quieran hacer de ellas. Si son vertidos a cielo abierto y quemados sin ningún control, la contaminación del aire con gases y partículas incidirá de nuevo en el ser humano.

La figura #3.1 esquematiza las trayectorias que siguen los contaminantes para llegar al ser humano. Algunas de estas trayectorias son, por ejemplo: contaminante-suelo en los botaderos abiertos, relleno-agua en la producción de líquidos percolados al subsuelo, suelo-aire en la quema de residuos agrícolas (REF.#56). En el cuadro #3.1 se explican estas trayectorias.

Waller y Bradfield (REF.#55), agregan otros posibles impactos ambientales, como lo son: efectos directos e indirectos debido a cambios en el ambiente físico sobre: animales, plantas, y ecosistemas en general, destrucción de hábitats; en el plano social, efectos sobre la necesidad de recreación y la vida en comunidad; en el plano económico, efectos sobre la productividad y

valor agrícola de las tierras, cambios en patrones de empleo, valor monetario de las propiedades y distorsión en el planeamiento a largo plazo del uso de la tierra.

FIGURA 3.1  
 LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y SU TRAYECTORIA  
 HACIA EL HOMBRE.



FUENTE: REF. # 56.

CUADRO 3.1: EJEMPLOS DE TRAYECTORIAS DE LOS CONTAMINANTES DE LOS DESECHOS SOLIDOS.

NUMERO	CAMINO	EJEMPLO
3	Contaminante-Agua	Beneficios de café
4	Contaminante-Suelo	Botaderos abiertos
5	Tratamientos-Aire	Incineración de residuos
6	Tratamientos-Relleno	Lodos de plantas de tratamiento
7	Tratamiento-Agua	Trituradores de residuos en la vivienda
8	Relleno-Agua	Agua de percolación en rellenos
9	Suelo-Agua	Agua de lluvia en ciudades, áreas agrícolas y sobrantes de riego
10	Suelo-Aire	Ciema de residuos agrícolas
11	Agua-Cadena alimenticia	Riego, pesca (Agua contaminada)
12	Suelo-Cadena alimenticia	Animales criados en botaderos, insectos, roedores
13	Agua-Hombre	Agua potable, agua para recreación contaminadas.
14	Alimentos-Hombre	Consumo de alimentos
15	Aire-Hombre	Ruido, olores.

FUENTE: Weitzenfeld, 1981.

Una mala disposición de los desechos, no resuelve el problema de la contaminación, lo que hace es trasladarla a otro medio. Una finalidad de los tres métodos de disposición: relleno sanitario, incineración y compost, es mitigar el impacto de los desechos sólidos sobre el ambiente, por medio de alguna transformación en su composición. Los productos de esta transformación no deben representar a su vez, un problema de deterioro al medio ambiente.

### **3.2.2. LA DISPOSICION FINAL DE DESECHOS SOLIDOS EN EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS.**

El impacto sobre el ambiente, causado por el mal manejo de las basuras en nuestro país, es más palpable en el deterioro de la calidad de los ríos. Las basuras, además de otros desechos de procedencia humana, contaminan sus cauces. Algunas municipalidades vierten las basuras en sus márgenes, pero la carga es tan grande que ya no poseen la capacidad de regenerarse y oxigenarse. Para 1987, cinco municipalidades del país depositaban "oficialmente" la basura en un río (REF.#17). El caso más grave es el río Grande de Tárcoles, convertido prácticamente en un basurero. Por otro lado, la mala disposición de las basuras que llegan a ser recolectadas por los municipios, están contaminando las aguas subterráneas en los botaderos sin control. Sin embargo, en rellenos sanitarios controlados, también hay contaminación con líquidos nocivos infiltrados a los acuíferos, que representan con seguridad, el principal problema causado al medio ambiente por el método de relleno sanitario (REF.#5). Como vemos, ya sea en botaderos o en rellenos sanitarios, el recurso hídrico es el más perjudicado.

La producción y, sobretodo, la disposición de desechos sólidos por parte de una población deben ser considerados dentro de la planificación integral de cuencas hidrográficas. Es una actividad desarrollada por el ser humano e influye en la calidad ambiental: ejerce un impacto sobre el medio ambiente. La OEA citada por Vargas (REF.#53D), señala que para lograr una planificación de cuencas ambientalmente consistente en proyectos y programas, se debe

considerar, entre otras cosas, incluir un objetivo de calidad ambiental como parte integral del proceso.

Toda actividad humana que ejerza un impacto negativo sobre el ambiente, debe ser tomada en cuenta incorporando, en el manejo de cuencas, disciplinas como la planificación del uso del suelo, la conservación de suelos, el estudio y control de la calidad del agua y otros. Es por esto, que en el análisis del problema de la disposición de basuras se deben tomar en cuenta factores como:

- Uso y capacidad de uso del suelo.
- Geología.
- Condiciones hidroclimáticas.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Aspectos socioeconómicos.

### **3.3. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA UBICACION DEL SITIO.**

El sitio donde se encuentre el relleno sanitario debe ser tal que cumpla con ciertos requerimientos, los cuales son importantes para procurar fundamentalmente la protección del medio ambiente, y por otro lado, lograr una economía en su ubicación. Debe permitir su utilización por largo plazo, de preferencia mayor de diez años.

#### **3.3.1.HIDROLOGIA.**

El más importante de los requisitos es proteger los mantos acuíferos subterráneos, los cuales pueden ser contaminados con los líquidos percolados a través del suelo. Estos líquidos llamados lixiviados contienen sustancias químicas nocivas, producto de la descomposición de la basura. El agua de lluvia las arrastra, y las lleva a los depósitos subterráneos, deteriorando su calidad y reduciendo su potencial de utilización como fuentes de abastecimiento. También

debe ser un sitio alejado de ríos y quebradas u otros depósitos de agua superficial con importancia ecológica (lagos, lagunas, etc), puesto que pueden llegar a ser alcanzados por estos mismos productos contaminantes.

#### **3.3.1.1. AGUAS SUBTERRANEAS.**

El mayor impacto negativo de un relleno sanitario en el ambiente, consiste en la contaminación de las aguas subterráneas. La contaminación y degradación de las aguas subterráneas deben evitarse, máxime cuando éstas son utilizadas para abastecimiento de poblaciones. Es por esto que no debe permitirse el contacto entre la basura y los acuíferos. Se hace imprescindible entonces, el conocimiento, entre otros datos, del máximo nivel de la tabla de agua alcanzado en la época de invierno, la dirección del flujo y el caudal aproximado de los acuíferos. Sin embargo, aún y cuando la basura no esté en contacto con el agua subterránea, se da la producción de líquidos que viajan verticalmente a través de los desechos y del material de recubrimiento, hacia los depósitos. Por esta razón, es importante también determinar cual debe ser la distancia desde el fondo del relleno hasta el nivel freático. Esto porque la capa de suelo recorrido por los lixiviados, puede servir para mitigar el impacto que estos podrían tener en el agua, al funcionar como filtros.

#### **3.3.1.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL.**

Obviamente, los cauces de ríos y quebradas no son sitios adecuados para la ubicación de un relleno sanitario, por lo que son descartados desde un principio. Los depósitos naturales de agua como lagos y lagunas, y sus cercanías también deben ser descartados. Otras áreas que se descartan son los manglares los cuales son ecosistemas de gran contenido de biomasa.

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), prohíbe el uso de algunos otros sitios con contenidos de agua, para la ubicación de rellenos sanitarios. Entre estos se incluyen ciénagas, pantanos y marismas. Son descritos como: áreas que se

inundan o saturan por aguas superficiales o subterráneas, con una frecuencia y duración suficientes, para soportar una vegetación típicamente adaptada para sobrevivir en suelos saturados (REF.#53C).

### **3.3.1.3. PRECIPITACION.**

El agua de lluvia puede infiltrarse a través del recubrimiento y arrastrar contaminantes. Es por esta razón que se debe conocer cuál es el régimen de lluvias en el área de estudio. Conocer los valores de la precipitación promedio anual, es importante en las áreas muy lluviosas, para el diseño de una red de drenaje pluvial que evite el escurrimiento dentro del relleno. Por otro lado, si se conocen también los valores del agua de escorrentía y de la pérdida por evapotranspiración, se puede determinar la cantidad efectiva de agua que se podría infiltrar a través del recubrimiento.

Las lluvias pueden hacer difíciles las labores diarias de la maquinaria dentro del relleno sanitario. El frente de trabajo puede hacerse de difícil acceso debido a humedad en el suelo. Zepeda (REF.#58), indica que una precipitación igual o menor que 500 mm/año no requiere mucho cuidado. Entre 500 mm/año y 1000 mm/año puede producir problemas si no se toman las medidas adecuadas y una precipitación mayor que 1000 mm/año sí requiere obras de control en el relleno sanitario. Sin embargo, estos valores quedan muy por debajo de las condiciones en nuestro país, donde las precipitaciones medias anuales se encuentran en el rango de 1500 mm hasta 6500 mm.

### **3.3.2. GEOLOGIA :MATERIAL DE RECUBRIMIENTO Y PRESENCIA DE FALLAS.**

La existencia de material suficiente para recubrimiento de los desechos es fundamental. La basura debe ser recubierta periódicamente, de tal forma que el frente de trabajo no permanezca expuesto. Por lo tanto siempre debe haber material de recubrimiento disponible, ya sea que se excave en el mismo sitio del relleno o en los paredones aledaños. Se debe evitar a

toda costa el transportar este material desde otros lugares, puesto que su acarreo implicaría un costo adicional. El tipo de material ideal es una mezcla bien graduada de arena, limo y arcilla para efectos de drenaje y trabajabilidad. Es importante también, evitar la ubicación del relleno sobre una falla, puesto que se corre el peligro de que se produzcan desplazamientos de terreno.

### **3.3.2.1. UNIDADES ESTRATIGRAFICAS: PRESENCIA DE MATERIAL PARA RECUBRIMIENTO.**

El conocimiento de la geología de una zona, nos permitirá determinar la presencia de materiales adecuados para realizar el recubrimiento de los desechos sólidos. Es importante saber si se cuenta con una capa grande de material disponible y la profundidad de la roca firme. No es deseable que la roca esté fracturada y que fluya agua a través de estas fracturas.

La importancia de la utilización de los mapas geológicos en toda obra de ingeniería civil es grande. Se debe hacer la "traducción" del lenguaje geológico, a información útil para el ingeniero. Se puede extraer mucha información de un mapa geológico, cuando esta es complementada con algún trabajo extra de campo, y elaborar otros mapas, cuya información sea más provechosa para el ingeniero civil. Por ejemplo, el Organismo de Información Geológica del Estado de Illinois, publicó en 1976, un juego de siete mapas, para que fueran utilizados en ingeniería y minería. Presentaban la información siguiente:

- 1) Materiales superficiales (por ejemplo, suelos).
- 2) Recursos hídricos (con señalamiento de la ubicación de los pozos).
- 3) Espesor de los depósitos no consolidados (rocas).
- 4) Recursos de carbón.
- 5) Minerales industriales.
- 6) Geología relacionada con la construcción en general.
- 7) Condiciones geológicas relacionadas con sitios para la disposición de desechos.

Estos mapas fueron elaborados con base en los mapas geológicos de la región y estudios adicionales mediante perforaciones (REF.#20).

En Pavoni (REF.#38), se hace una diferenciación entre los materiales que sirven para recubrimiento y los que presentan algún problema. Los que sirven son las mezclas bien graduadas, limpias y libres de material putrescible. Pueden ser mezclas de arena y arcilla. Las margas arenosas también sirven.

Entre los que presentan problemas:

- Las arenas que permiten la invasión de grandes cantidades de agua.
- Los suelos finos como arcillas y cieno presentan dificultades de trabajabilidad sobre y con ellos. Esto debido a las propiedades de entumecimiento y encogimiento asociadas con los suelos cohesivos.
- Las arcillas puras se encogen y forman grietas que permiten el paso de vectores e infiltración de aguas.

### **3.3.2.2. FALLAS.**

Un relleno sanitario no debe ser ubicado sobre fallas activas, deslizables o asentables (REF.#38). El mayor peligro que correría un relleno sobre una falla se presentaría al ocurrir grandes deslizamientos de tierra, destruyendo las celdas ya terminadas y dejando al descubierto los desechos sólidos. Por otro lado, el sistema de drenaje y de recolección de lixiviados puede romperse ocasionando, eventualmente, la contaminación de las aguas subterráneas.

La Agencia para la Protección del Ambiente de EEUU (EPA), regula esta situación. Propone no situar el relleno en sitios que se encuentren a 60m o menos de una falla que haya tenido desplazamientos en los últimos años. En un temblor, las superficies se desplazan a lo largo de las fallas, y hay movimiento de la superficie. Debido a esto las instalaciones

(sistemas de recolección de lixiviados, capas de recubrimiento de las celdas) pueden sufrir desplazamientos o deformaciones (REF.#53C).

### **3.3.3. USO DE LA TIERRA.**

El uso del suelo en el área de estudio va a restringir la selección del sitio. Áreas como reservas forestales o parques nacionales, son descartables, así como manglares u otros ecosistemas de importancia. Se deben buscar tierras incultas como tajos abandonados, charrales, laderas y barrancos.

Debe procurarse ubicar un relleno sanitario lejos de ciudades y centros poblados. Sería difícil lograr la aceptación del público, de instalar un relleno en terrenos cercanos a un centro de población.

Es importante planificar, antes de que las operaciones comiencen, cuál será el uso del relleno sanitario una vez que se haya completado. En Estados Unidos, los rellenos sanitarios completados, se utilizan para una variedad de propósitos, entre los cuales son más frecuentes los campos de juegos y los parques. Algunos edificios livianos son construidos a veces directamente sobre el relleno, pero la mayoría de las estructuras mayores son soportadas sobre pilotes hincados en el sitio. Advierte también que deben estudiarse métodos para evitar la acumulación de los gases, producidos en el relleno, en las estructuras que se planea construir (REF.#24). Con la finalidad de darle un uso agrícola, se han colocado capas gruesas de suelo sobre las celdas terminadas, pero se han encontrado dificultades, puesto que la percolación de aguas de irrigación han generado lixiviados y los gases generados han provocado efectos negativos en el crecimiento de los cultivos.

### **3.3.4. CAPACIDAD DE USO DEL TERRENO.**

Los suelos son clasificados en categorías que son útiles para comprender su génesis, propiedades y comportamientos. A su vez, estas categorías pueden ser agrupadas en conjuntos mayores, siguiendo criterios y métodos específicos, con la finalidad de hacer posible el manejo y la toma de decisiones acerca del uso de la tierra (REF.#34). Ejemplos de este tipo de agrupaciones son los mapas con clasificaciones de tierras aptas para la agricultura. Esta clasificación, agrupa los tipos de suelos con potenciales y limitaciones similares para la agricultura: producen tipos similares de cultivos, requieren de tratamiento y manejo similares para su conservación, etc.

En la búsqueda de un sitio para ubicar el relleno, se debe poseer información como la anterior, puesto que evita el escoger un terreno que puede ser muy apto para cultivos, y facilita ubicar los terrenos menos fértiles. De la misma manera en que se agrupan los suelos dependiendo de su aptitud para la agricultura, se podrían agrupar de acuerdo a sus condiciones para ubicar un relleno sanitario. Lo importante, como señala Olson (REF.#34), es que se agrupen las capacidades y propiedades favorables de los suelos para este uso específico, que serían entre otras: clase de drenaje, frecuencia de inundaciones, permeabilidad, pendiente y textura.

### **3.3.5.CANTIDAD DE TERRENO.**

El área de terreno que se necesita depende de las características y de la cantidad de desechos sólidos recibida, la densidad a la cual es compactada, la relación basura compactada/material de recubrimiento, la profundidad del relleno y la vida útil deseada para el sitio. El sitio seleccionado debe tener, por lo menos, capacidad para un periodo de 20 años (REF.#24). Para el cálculo del volumen del relleno se deberá tomar en cuenta la proyección futura de la población y el índice de generación.

### **3.3.6. ESTETICA.**

La entrada al sitio no debe ser visible, en el caso de que se encuentre cerca de un área residencial, para minimizar el impacto público y por razones estéticas. Sería preferible que hubiesen separaciones naturales (árboles) o topográficas.

### **3.3.7. CERCANIA A LA RED VIAL Y ACCESOS.**

El sitio debe ser accesible por las principales carreteras (aunque no debe estar muy cerca de ellas). Es conveniente que los vehículos recolectores no suban pendientes muy pronunciadas para llegar a él, en el caso que tengan que hacerlo. Las vías de acceso deben estar preferiblemente pavimentadas y en buen estado. En el caso en que se utilicen otros medios de transporte, como el ferroviario, lo importante es que el lugar no se encuentre muy alejado de la vía férrea.

### **3.3.8. TOPOGRAFIA.**

El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea, como puede ser el caso de minas abandonadas a cielo abierto, inicio de cañadas, etc.

### **3.3.9. VIENTOS DOMINANTES.**

La ubicación del sitio deberá seleccionarse procurando que los vientos dominantes soplen en sentido contrario a la mancha urbana con el fin de evitar posibles malos olores, aunque si el relleno opera correctamente este factor puede despreciarse.

### **3.3.10. PROCESO Y CRITERIOS DE SELECCION.**

Todos los factores anteriores deben ser sistemáticamente evaluados para determinar un sitio óptimo. El siguiente flujo muestra el orden en que se debe hacer el análisis:

#### FASE # 1

PASO 1: - IDENTIFICACION DE AREAS PROBABLES.

- REVISION DE CARACTERISTICAS REGIONALES.

PASO 2: - DEFINICION DE PARAMETROS DE SELECCION DE SITIO.

PASO 3: - INVESTIGACION INTENSIVA DE LITERATURA RELACIONADA.

PASO 4: - EVALUACION PRELIMINAR: ANALISIS #1 A NIVEL REGIONAL DE LOS FACTORES.

PASO 5: -CLASIFICACION Y JERARQUIZACION DE AREAS PRELIMINARES PROBABLES.

#### FASE # 2

PASO 6: - IDENTIFICACION DE AREAS MAS DESEABLES.

PASO 7: - ANALISIS # 2 A NIVEL LOCAL DE LOS FACTORES.

PASO 8: - CLASIFICACION Y JERARQUIZACION DE AREAS MAS PROBABLES.

- ANALISIS DE ALTERNATIVAS PRELIMINARES DE SITIOS FACTIBLES.

#### FASE # 3

PASO 9: - ESTUDIOS DE CONFIRMACION DEL SITIO: HIDROGEOLOGIA, CONDICIONES GEOTECNICAS, EVALUACION DE RIESGOS, ECOLOGIA.

## PASO 10:- INFORME AMBIENTAL.

### SOLICITUD Y NEGOCIACION PARA LICENCIA DE SITIO.

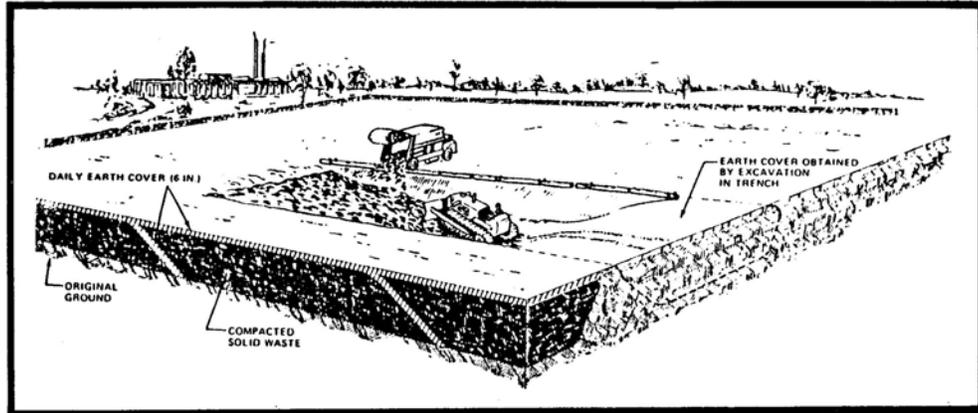
#### **3.4. TECNICAS DE RELLENO SANITARIO.**

La Agencia para la Protección del Ambiente de EEUU (EPA), sugiere dos tipos de relleno básicos: el método de área y el método de trinchera. El "bloque de construcción" común en ambos métodos es la celda de desechos sólidos. Toda la basura se esparce y compacta en capas, en un área confinada, para después ser cubiertos con una capa delgada de suelo. En general, el método de trinchera se usa cuando la tabla de agua está profunda y la capa de suelo tiene más de seis pies (1.83 m). El método de área puede ser empleado en casi todas las condiciones topográficas. Es conveniente cuando la tabla de agua está muy cerca de la superficie.

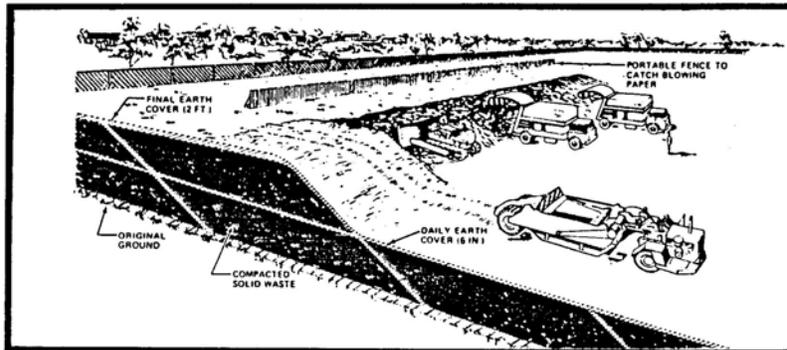
##### **3.4.1. METODO DE TRINCHERA.**

En el método de trinchera, se hace una excavación larga y estrecha en la tierra y el suelo removido se acumula. La basura se deposita entonces en un extremo de la trinchera, a la que se ha hecho una pendiente. La basura se acomoda dándole una pendiente también (usualmente 3:1), y luego se compacta con el equipo usado. Al final del día, las capas compactadas de basura, se cubren con el suelo que se había apilado. Cuando la trinchera ha sido llenada completamente de basura, se cubre con una capa más gruesa del material disponible. Ver figura #3.2.

FIGURA 3.2  
METODOS DE RELLENOS SANITARIOS.



1) METODO TRINCHERA.



2) METODO AREA.

FUENTE: REF. #38.

### **3.4.2 METODO DE AREA O RAMPA.**

A diferencia del método anterior, en el de área, la basura se deposita sobre una superficie inalterada existente. Luego se compacta a una densidad mayor, y se cubre con tierra al final del día de operaciones. Cuando la última capa de basura se ha colocado y el sitio se ha llenado, se coloca una capa final de recubrimiento más gruesa. Generalmente en este método, el material de recubrimiento se transporta desde otro lugar. Ver figura #3.2.

### **3.4.3. INSTALACIONES Y OPERACION.**

Las obras o instalaciones más importantes que debe haber en un relleno sanitario son:

A) Caminos permanentes desde las calles principales públicas hasta el sitio y caminos temporales dentro del relleno, hasta el frente de trabajo.

B) Una balanza para que ayude a regular y controlar la operación del relleno. Esta debe ser capaz de pesar al vehículo mayor que entre a descargar basura.

C) Una edificación pequeña con una oficina y vestuarios para los empleados, la cual puede ser temporal o trasladable. El sitio debe tener los servicios de agua potable, electricidad, baños e inodoros.

A continuación, se resumen las prácticas operacionales más importantes que se deben realizar (REF.#43):

A) El frente de trabajo se debe mantener a una anchura tal que sea consistente con la operación de los camiones y el equipo, de tal forma que el área de basura expuesta sea mínima.

B) Toda la basura una vez vertida, debe ser compactada en capas de 30 a 45 cm, por el tractor, el cual debe pasar sobre ella, cuatro o cinco veces.

C) Toda basura expuesta debe ser cubierta con una capa de 15 cm de tierra , al final de cada día.

D) El recubrimiento final debe minimizar la infiltración y ser compacto, y al menos tener 65 cm.

E) El nivel final del relleno debe tener por lo menos una pendiente del 2 al 4 por ciento, para permitir un drenaje adecuado. Los lados de las celdas, deben tener una pendiente suave para evitar la erosión.

F) La profundidad de las capas de basura no debe exceder de 2,4 a 3 metros después de la compactación.

G) Debe mantenerse el control de la producción de polvo, voladura de papeles, y calles de acceso. Se recomienda el uso de cercas o barreras y la vigilancia constante para evitar que se introduzcan personas a revolcar la basura.

H) La recuperación de materiales no se recomienda en un relleno sanitario.

I) Es preferible una trinchera o una área separada, para la deposición de objetos como: restos de árboles, refrigeradoras, tanques de agua, etc.

J) Deben hacerse las provisiones necesarias, bajo condiciones controladas, para la disposición de animales muertos y desechos de tanques sépticos. Estos deben ser cubiertos inmediatamente.

K) Deben realizarse, inspecciones anuales al menos, para porciones completadas, con el fin de reparar grietas, erosiones o depresiones en las celdas.

#### **3.4.4. EQUIPO.**

El equipo que debe ser utilizado en un relleno sanitario, se escoge de acuerdo a la técnica misma de relleno que se emplee, y a la cantidad de basura que deba ser manejada. Lo importante es que exista la cantidad mínima de maquinaria para realizar la compactación y el recubrimiento diario de los desechos.

En general, el equipo que se emplea en los rellenos sanitarios es:

- A) Tractores oruga que recogen y acarrean tierra y depositan los residuos empujándolos con una pala o un dispositivo de aplicación universal montado en su parte delantera.
- B) Tractores oruga con una cuchilla frontal (y unas rejas, si son necesarias).
- C) Tractores de ruedas con cuchilla frontal y rejas.
- D) Excavadoras de carga automática con ruedas de neumáticos.

### **3.4.5. PRODUCCION Y CONTROL DE LIXIVIADOS EN UN RELLENO SANITARIO.**

Los depósitos subterráneos de agua se pueden ver contaminados con líquidos infiltrados provenientes del relleno sanitario y que contienen gran cantidad de sustancias que la hacen inutilizable para determinados propósitos. Las basuras se descomponen química y biológicamente, para producir sustancias líquidas, sólidas y gaseosas. El agua que se mueve a través del relleno, ya sea superficial o de origen pluvial, recoge la materia sólida suspendida y disuelta y los microbios, para formar una solución denominada en inglés con el término "leachate" (lixiviados). La composición de ésta depende de la composición de los desechos.

Las formas en que el agua puede hacer contacto con los desechos sólidos, y producir lixiviados son:

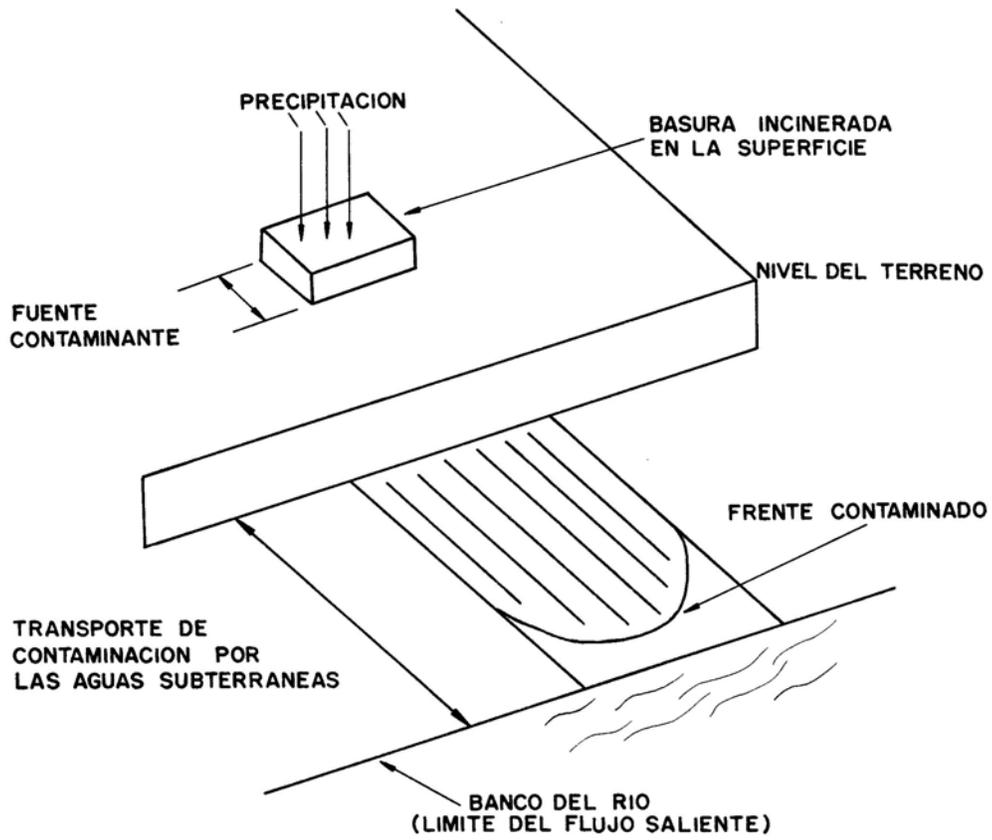
- Por infiltración de lluvia a través de la superficie.
- Por movimiento lateral de aguas subterráneas hacia el relleno.
- La elevación de la tabla de agua hasta sobrepasar el piso del relleno.
- La descomposición de los desechos sólidos produce cierta cantidad de humedad y de lixiviados sin necesidad de que penetre agua del exterior.

En la figura #3.3 se esquematiza la contaminación de los ríos y en la figura #3.4 el movimiento de los lixiviados hacia las aguas subterráneas o superficiales.

La técnica utilizada, para evitar la migración de los lixiviados hacia los mantos acuíferos consiste en la colocación de capas impermeables en el piso del relleno, ya sean de

arcilla o sintéticas, y un sistema de tuberías perforadas para recolectar los lixiviados, como se muestra en la figura #3.5.

FIGURA 5.3  
ESQUEMA DEL PROBLEMA DE CONTAMINACION SUBTERRANEA.



FUENTE: REF# 8-B.

FIGURA 3.4  
SISTEMA HIPOTETICO DE FLUJO SUBTERRANEO.

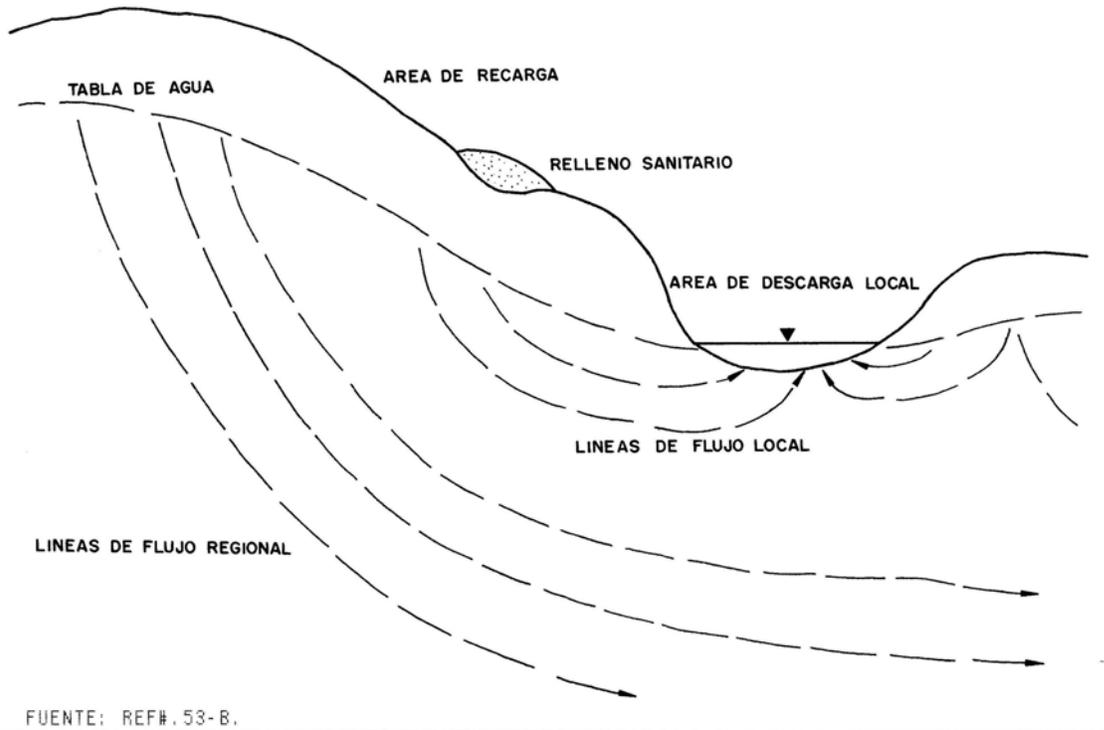
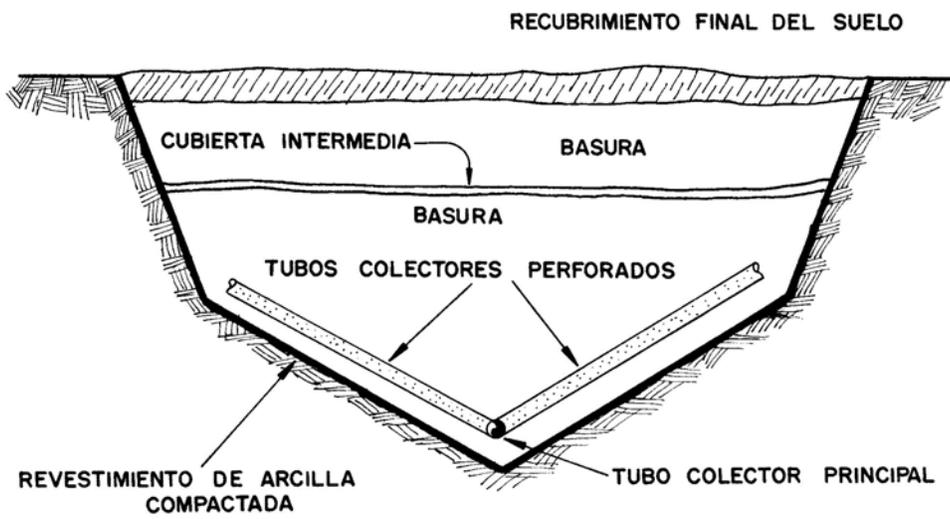


FIGURA 3.5  
REVESTIMIENTO DE ARCILLA Y TUBERIA DE RECOLECCION DE LIXIVIADOS.



FUENTE: REF#. 38.

Cuando sea posible, se deben realizar perforaciones de pozos a cielo abierto y sondeos en el sitio del relleno sanitario. Los sondeos se deben realizar hasta una profundidad de 20 metros o menos, si se encuentra un material impermeable; o bien con pozos a cielo abierto y mayores de 6 metros de profundidad cuando las condiciones lo permitan. De estos sondeos y pozos se puede conocer la estratigrafía del suelo y se obtendrá una idea bastante aproximada de las condiciones del sitio como son la profundidad del acuífero, permeabilidad y tipo de material. Los pozos se deben utilizar en lo posible, para la extracción de muestras de agua para investigar los efectos en la calidad de las aguas. Al hacer análisis de las aguas en sitios de disposición de desechos sólidos, mediante muestras de pozos, se pueden obtener datos sobre la composición física, química y biológica de los jugos de lixiviación y hacer la evaluación del potencial de contaminación que representan los rellenos sobre las aguas. Se debe establecer una red de pozos para obtener datos de la calidad del agua de los acuíferos, y realizar métodos estadísticos de evaluación de dichos datos, con la finalidad de establecer normas y criterios.

#### **3.4.6. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.**

La selección de las tecnologías de tratamiento depende en parte de la naturaleza química de los lixiviados que están siendo tratados (REF.#8).

##### **3.4.6.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO: LODOS ACTIVADOS.**

A) Descripción. En el proceso de lodos activados, las bacterias descomponen los desechos orgánicos mediante la oxidación e hidrólisis en la presencia de oxígeno (aeróbicamente). Los microorganismos se aclimatan al ambiente de los lixiviados a través de un continuo reciclamiento. Se genera un residuo de lodos paralelamente con el efluente tratado. La operación incluye sistemas de aireación, un clarificador y un sistema para recircular los lodos. Los mecanismos de aireación, liberan aire dentro del sistema, sin embargo se puede

utilizar también oxígeno. Generalmente la ecualización, neutralización, y/o la sedimentación primaria preceden al proceso de lodos activados. Las opciones que se tienen para la disposición de los lodos residuales son: relleno sanitario e incineración.

B) Eficiencia. La eficiencia del tratamiento de lodos activados, se mide por medio del porcentaje de remoción de DBO. La eficiencia promedio de remoción de DBO, de un total de 96 muestras de líquidos residuales industriales, fue de 86%, en un estudio realizado por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA) en 1980.

C) Principales datos que se requieren.

- Coeficiente de reacción de DBO.
- Coeficientes de oxígeno.
- Coeficientes de lodo (fracción biodegradable).
- Eficiencia estándar de transferencia de oxígeno.
- Coeficiente de corrección de la temperatura.
- Influyente promedio y máximo.
- Influentes de DBO y sólidos suspendidos.

D) Elementos del costo.

Construcción y capital.

- Excavación
- Tanques
- Bombas
- Clarificador
- Equipo de aireación.

Operación y mantenimiento.

- Químicos, electricidad y disposición de sólidos.

### **3.4.6.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO: LAGUNAS.**

A) Descripción. En estos sistemas, los procesos de oxidación microbiana, fotosíntesis y algunas veces la digestión anaeróbica se combinan para degradar los componentes orgánicos de los efluentes. Son similares al tratamiento de lodos activados, excepto por el reciclamiento de los lodos. La aereación puede ser suplida por el viento y algas. El oxígeno introducido por la aereación es usado por las bacterias para oxidar la material orgánica y producir dióxido de carbono; las algas usan el CO<sub>2</sub> en el proceso de fotosíntesis y producen más oxígeno. Los tipos de lagunas que se pueden utilizar son:

- Lagunas con aereación mecanizada: La profundidad de las lagunas varía entre 1,8 y 6m. Requieren usualmente un clarificador separado.
- Lagunas facultativas: La degradación es aeróbica (cerca de la superficie) y anaeróbica (en el fondo). Las profundidades están entre 0,6 y 1,5 m.
- Lagunas de estabilización: No se necesita aereación forzada. El tratamiento se mantiene aeróbico mediante algas. La profundidad oscila entre 0,3 y 0,6 m.

Los parámetros principales de diseño son:

1. El tipo, número y configuración de las lagunas a utilizar.
2. tiempo de detención, que está relacionado con la concentración de los polutantes del influente, el grado de remoción, la temperatura y la naturaleza de los desechos sólidos.

B) Elementos del costo.

Construcción y capital.

- Excavación.
- Materiales de construcción.
- Bombas.

Operación y mantenimiento.

- Electricidad y químicos.

### **3.5. UTILIZACION DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA SELECCION DE SITIO.**

En el proceso de selección del sitio, la FASE# 1 consiste en el análisis a nivel regional de los factores. La mayoría de la información que se requiere, se puede encontrar en mapas ya elaborados o se puede utilizar para elaborar otros. Por esta razón, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son instrumentos que pueden ser de gran utilidad, para la realización de esa tarea.

#### **3.5.1. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.**

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) puede almacenar y analizar una base de datos, los cuales están referenciados geográficamente. Los datos representan características físicas o biológicas del entorno natural o humano, ubicándolos en el espacio, indicando su naturaleza o atributo y haciendo una relación entre esta y otras características del mapa. Son técnicas para el archivo y análisis de información espacial, con funciones de: creación, mantenimiento y fácil empleo de una base de datos referenciada espacialmente, y capacidad de análisis de los datos.

Los SIG son una herramienta importante para lograr la interacción entre las diferentes disciplinas, en el proceso de toma de decisiones en determinado problema. Este trabajo interdisciplinario es necesario hoy en día en la planificación y el manejo de los recursos naturales y en otras muchas actividades, como la que se trata en este trabajo. En la toma de decisiones del proceso de búsqueda de un sitio para construir un relleno, se deben analizar muchos factores, y la participación interactuante de varias disciplinas es necesaria (REF.#42).

Muchos de estos datos pueden ser manejados en mapas y ser transferidos a una base de información, para ser manipulados mediante un SIG. Este permitirá la ubicación espacial del problema a nivel regional. Las ventajas que tiene su utilización en el problema particular de los desechos sólidos son:

1. Permite tener la información de una manera organizada.
2. Permite actualizar la información.
3. La información es instantánea.
4. Se puede tener una representación gráfica del problema.
5. Permite el estudio de modelos complejos.

### **3.5.2. ELABORACION DE CARTOGRAFIA.**

Se debe llevar a cabo la elaboración y recopilación de mapas con información del área de estudio. Entre los mapas que se pueden obtener están los hidrológicos como precipitación (cantidad, intensidad y frecuencia), áreas de existencia de aguas subterráneas o áreas potenciales acuíferas, datos geológicos, capacidad de uso del suelo y otros. Estos mapas deberán ser elaborados a una misma escala, con la finalidad de posibilitar su posterior análisis mediante el Sistema de Información Geográfica.

Básicamente se utilizan dos tipos de mapas:

i) Aquellos que mediante la delimitación de áreas, representan condiciones reales existentes en la superficie del terreno o debajo de ella. Por ejemplo: mapas de formaciones geológicas, o mapas de profundidades del nivel freático. Se incluyen aquí también, los mapas de uso del suelo. Por otro lado, se ubican aquí mismo los mapas de isolíneas, para condiciones existentes, tales como los que representan los puntos de igual potencial hidráulico de las aguas subterráneas.

ii) Dentro de una segunda clasificación se ubican los mapas de condiciones, que si bien es cierto son reales, no son ubicables en o bajo la superficie del terreno. En este caso se

puede hacer una representación geográfica de estas condiciones. Ejemplos de estos mapas son los de elementos meteorológicos: mapas de isoyetas, isotermas, isoevapotranspiración, etc.

### **3.5.3. MAPAS TEMATICOS: RECOLECCION DE DATOS.**

Algunos mapas temáticos que se pueden recolectar, para el análisis en el Sistema de Información Geográfica, del problema de ubicación de un sitio apto para relleno sanitario, se mencionan a continuación.

#### **3.5.3.1. MAPA DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL.**

Se elabora el mapa que muestre la hidrología superficial de la zona de estudio: ríos, quebradas, lagos, lagunas, etc.

#### **3.5.3.2. MAPA DE LINEAS ISOFREATICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.**

Se pueden obtener mapas ya elaborados que muestren las líneas isofreáticas de las aguas subterráneas de la región. Estas líneas representan los puntos en donde el nivel freático tiene igual cota con respecto al nivel del mar. Este mapa es también llamado por los hidrogeólogos, mapa de isopotenciales. Por esto, se puede afirmar que el agua subterránea fluye de una línea isofreática con determinada cota a otra con una cota menor, cruzándolas perpendicularmente. En él se muestran entonces las líneas de flujo de las aguas subterráneas.

El mapa puede ser realizado también con información extraída en el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA).

El procedimiento para su elaboración es el siguiente:

- 1) Se localizan los pozos excavados en la región. Se toma el dato del nivel de agua que alcanza cada uno sin ser perturbado, esto es, sin ser bombeado.

Este es el nivel estático, sin abatimiento del pozo, el cual se mide desde el nivel del terreno hasta la superficie del agua, y lo llamaremos A. Estos valores de A se encuentran en los archivos del SENARA. Este primer paso es exclusivamente de extracción de información; los siguientes corresponden propiamente a la elaboración del mapa que se requiere.

- 2) Se ubican y señalan los pozos en el área de estudio en un mapa 1:50000 y se señala su respectiva cota del nivel estático, que llamamos A.
- 3) Se obtiene aproximadamente la cota topográfica con respecto al nivel del mar de los pozos, que llamamos B.
- 4) Se calcula el nivel freático de cada pozo con respecto al nivel del mar, que llamamos C. Esto se hace restando el valor A del valor B:  $C=B-A$ .
- 5) Una vez que se tienen los valores del nivel freático C para cada pozo, se trazan isolíneas. Estas líneas representan los puntos, donde el nivel freático con respecto al nivel del mar, tiene el mismo valor. Para trazar estas isofreáticas, se utiliza un procedimiento similar al que se acostumbra para curvas de nivel o isoyetas.
- 6) Se trazan líneas perpendiculares a las isofreáticas, las cuales indican el sentido del flujo de las aguas subterráneas.

### **3.5.3.3. MAPA DE LINEAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.**

Estas líneas son el conjunto de puntos donde los espesores de la capa no saturada, son iguales. Representan los puntos donde la profundidad a que se encuentra el nivel freático es igual. Su elaboración se puede llevar a cabo con base en los mismos datos del mapa anterior, trazando isolíneas por los puntos con igual valor de nivel estático (referenciado al nivel del terreno). Estas isolíneas representan los espesores de la capa no saturada, o lo que es igual, la profundidad de las aguas subterráneas.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Se localizan los pozos excavados en la región, tal y como se hace en el mapa de isofreáticas.
- 2) De la misma manera, se ubican y señalan los pozos sobre un mapa de la región a escala 1:50000.
- 3) Se lee para cada pozo, el valor del nivel estático, o valor A como lo llamamos. Este valor por estar referenciado al nivel del suelo, representa el espesor del terreno en donde no se puede encontrar agua, o la profundidad a que se encuentran las aguas subterráneas.
- 4) Una vez que se tienen estos valores puntuales, se trazan isolíneas las cuales representan los puntos donde teóricamente el agua se encuentra a una misma profundidad.

#### **3.5.3.4. MAPAS DE PRECIPITACION.**

Se pueden elaborar o utilizar mapas ya elaborados de las isoyetas en el área de estudio, con la precipitación promedio anual, por ejemplo. Es también importante considerar el hecho de que en algunos sitios del país, la frecuencia con que llueve es mayor que en otros, aunque la cantidad sea menor. De esta manera, se pueden elaborar mapas que muestren las curvas de igual porcentaje de días al año, con lluvias mayores o iguales a los 10mm o 15mm.

#### **3.5.3.5. MAPA GEOLOGICO.**

Se pueden obtener mapas ya elaborados que muestren la geología de la zona. Estos indican todas las formaciones estratigráficas y las fallas más importantes. Las formaciones estratigráficas, son un tipo de agrupaciones, realizada por los geólogos, mediante el estudio de las rocas presentes en el área. Estas son las rocas estratificadas (sedimentarias y volcánicas), y se estudia su sucesión en el tiempo y la naturaleza de las mismas. Con base en estos criterios, las formaciones son diferenciadas y se les da una denominación. Cada una de ellas tiene su litología: un conjunto de rocas y materiales de distintas clases. Lo que interesa

para nuestro análisis, es la litología superficial de cada formación. Para complementar esta información, se revisan las mismas perforaciones o pozos que se utilizan para la realización de los mapas de isofreáticas. En las hojas del SENARA, donde se registran los pozos, se incluye un perfil litológico y algunas propiedades de los materiales encontrados.

Como ejemplo, se mencionan a continuación, algunas formaciones estratigráficas que se encuentran en Costa Rica y sus capacidades para ubicar el relleno:

1) La Formación Punta Carballo presenta, en general, capas de arenisca, que son rocas sedimentarias cuyo tamaño de partícula está en el rango de 1/16 de mm a 2 mm. Son arenas y tienen una permeabilidad de mala a regular. Si bien tiene un potencial acuífero bueno, se pueden encontrar sitios con capas de arcilla impermeable.

2) En la Formación Tivives, se presentan materiales arcillificados con permeabilidad mala a nula. El potencial acuífero es malo, puesto que las rocas volcánicas (tobas) que se ubican a estratos más profundos, son impermeables.

3) En La Formación Orotina, el potencial acuífero es malo, puesto que se presentan arcillas de baja permeabilidad sobre material volcánico (ignimbritas) de baja permeabilidad también.

4) Hay otras formaciones geológicas más recientes, los depósitos aluviales. Estos son materiales que se transportan por un río y se depositan en puntos a lo largo de su llanura de inundación. Están comúnmente compuestas por arenas y gravas. Los aluviones son de alta permeabilidad, por lo que forman acuíferos importantes, y por lo tanto no son áreas aptas para ubicar un relleno sanitario.

#### **3.5.3.6. MAPA DE CAPACIDAD DE USO DE SUELO.**

La clasificación de la capacidad de uso de las tierras se establece con base en los conceptos básicos del Manual 210 del Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos (REF.#26B). Según este sistema las categorías de clasificación por capacidad de uso son tres: Clases, Subclases y Unidad de Capacidad. Las clases integran grupos de tierras

que son similares solamente con respecto al grado relativo de limitaciones en el uso para propósitos agrícolas, o peligros de ser dañadas cuando son usadas. Muestran la ubicación, distribución y aptitud general de los suelos para propósitos de uso.

Las clases I,II y III, incluyen todas las tierras que son adecuadas para el cultivo regular, la clase IV, las tierras que se pueden cultivar sin riesgos de modo limitado. Las clases V,VI y VII comprenden las tierras que no son adecuadas para cultivarlas, pero son adecuadas para pastos y bosques. La clase VIII comprende las tierras que no son adecuadas para cultivos, pastos ni bosques.

#### **3.5.4. ANALISIS DE LOS DATOS.**

En el análisis de los datos, se deben realizar sobreposiciones y modificaciones de los mapas, para obtener un mapa resultante que represente las zonas aptas para situar un relleno sanitario. Para cada grupo de datos de determinada naturaleza, ya sea geológica, hidrológica o cualquier otra, se fija un criterio mediante el cual se descarten ciertas áreas que se consideren no aptas. Mediante la manipulación de las bases de datos correspondientes a los mapas originales, se pueden derivar otros necesarios para el estudio: por ejemplo se puede derivar un mapa de gradiente hidráulico de las aguas subterráneas a partir del mapa de líneas isofreáticas.

Un ejemplo del análisis que se debe llevar a cabo con los mapas, es el siguiente:

1) Mapa geológico: en él se descartan las áreas que se consideren no aptas desde el punto de vista geológico.

2) Mapa de capacidad de uso de suelos: se descartan las áreas que posean suelos muy aptos para el establecimiento de cualquier tipo de cultivos.

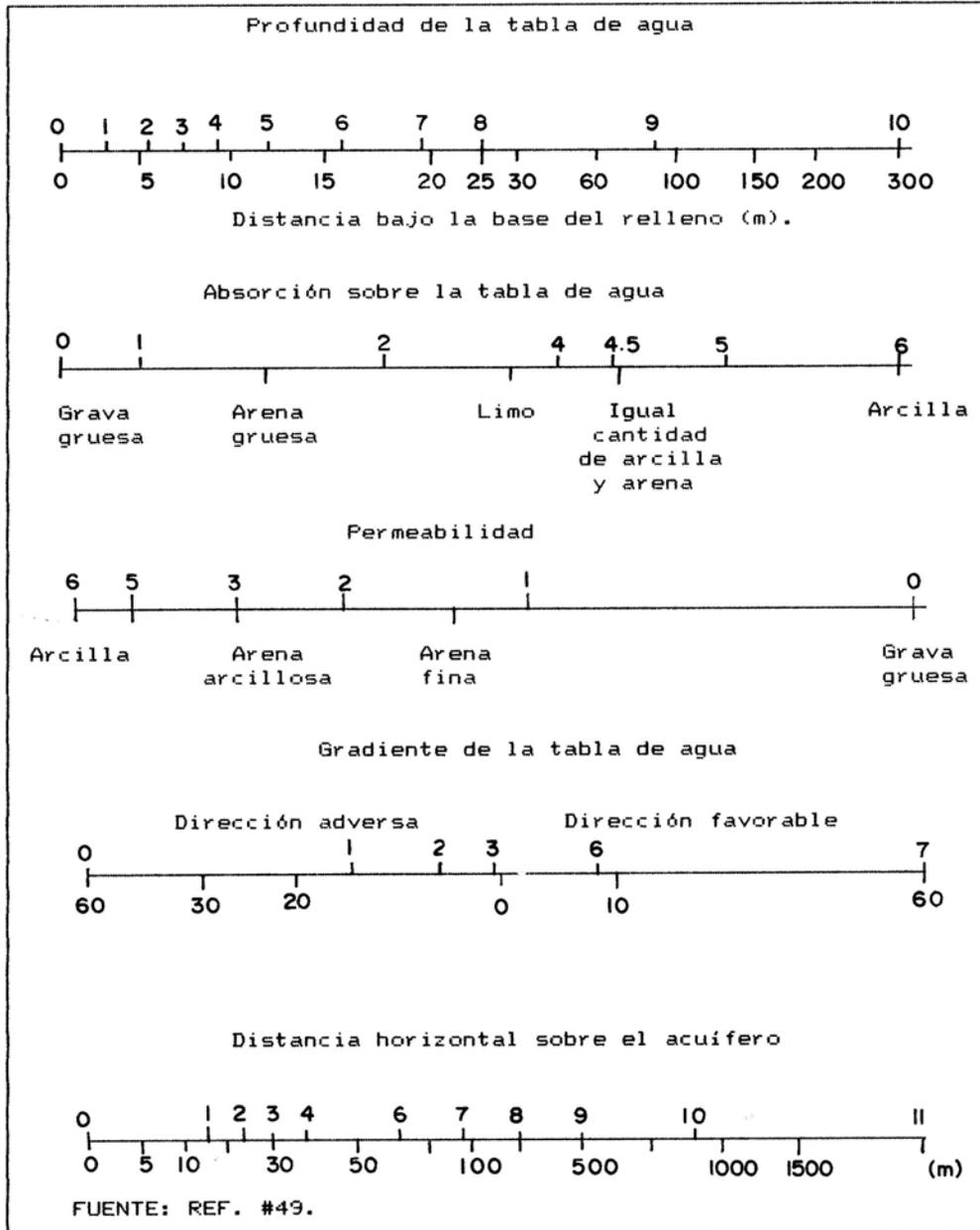
3) Mapa de polución potencial de aguas subterráneas: Este mapa, se puede generar a partir de los mapas hidrogeológicos de la zona. Un procedimiento utilizado para evaluar la polución potencial de un acuífero por parte de una fuente dada (relleno sanitario), es un

método empírico desarrollado por H.E.Le Grand. El concepto es aplicable a sitios de disposición de desechos sólidos y a pozos (REF.#49). Este es un sistema de suma de puntos, en donde se toman en cuenta los factores físicos que pueden influenciar la polución:

- A) Profundidad de la tabla de agua.
- B) Absorción sobre la tabla de agua.
- C) Permeabilidad del acuífero.
- D) Gradiente de la tabla de agua.
- E) Distancia horizontal de la fuente contaminante hasta el acuífero.

En la figura #3.6, se muestra el procedimiento de evaluación de estos factores. De acuerdo a los valores o datos correspondientes a cada factor, se asigna en la parte superior de cada línea un valor numérico o puntuación. Una vez que se le da una puntuación a cada factor, se calcula la suma, y se entra a la tabla siguiente.

FIGURA #3.6: GRAFICOS PARA LA EVALUACION DE LA POLUCION POTENCIAL DE UN ACUIFERO MEDIANTE EL METODO DE LE GRAND.



<b>PUNTUACION TOTAL</b>	<b>POSIBILIDAD DE POLUCION DEL ACUIFERO</b>
0-4	INMINENTE
4-8	PROBABLE O POSIBLE
8-12	POSIBLE PERO NO PROBABLE
12-25	MUY IMPROBABLE
25-35	IMPOSIBLE

La inspección de campo es un instrumento importante en el proceso de selección de sitio, como complemento. Se puede utilizar otra herramienta valiosa que es la fotografía aérea.

## **4 ESTUDIO PRELIMINAR PARA ANALIZAR LA UTILIZACION DEL TRANSPORTE FERROVIARIO DE DESECHOS SOLIDOS**

### **4.1. SITUACION DEL PROBLEMA DE LOS DESECHOS SOLIDOS A NIVEL NACIONAL Y DE LA GAM.**

La producción actual promedio de desechos sólidos a nivel nacional se estima en 0.7 kg/día/per cápita y podría llegar a 1kg/día/per cápita para el 2000 (REF.#28). En la area metropolitana, la producción fue de 0,8 kg/día/per cápita en 1988 (REF.#24).

En total, se generan unas 1400 a 1500 toneladas diarias de basura en el país. En el cuadro #4.1, se muestra el promedio de basura transportada por los vehículos recolectores diariamente en las siete provincias, en 1986.

**CUADRO # 4.1****VOLUMEN DE BASURA TRANSPORTADA DIARIAMENTE EN EL PAIS.**

<b>PROVINCIA</b>	<b>VOLUMEN (M3)</b>
SAN JOSE	1475.0
ALAJUELA	203.0
CARTAGO	485.5
HEREDIA	170.5
GUANACASTE	199.5
PUNTARENAS	230.0
LIMON	142.0
TOTAL	2905.5

Fuente: IFAM, 1987.

El peso específico de los desechos sólidos es de unos 500 Kg/m<sup>3</sup> compactada, en las calles 225 Kg/m<sup>3</sup> y en el relleno unos 400 Kg/m<sup>3</sup>.

La manera en que se dispone la basura a nivel nacional, no corresponde a ninguno de los tres métodos de tratamiento: relleno sanitario, incineración o compost. En el cuadro #4.2, se listan las municipalidades del país y la forma en que disponen de los desechos sólidos. Esta investigación fue realizada por el IFAM (1987), y aunque se menciona el relleno sanitario como método de disposición final, en realidad la técnica no es aplicada correctamente ni en

el sitio Río Azul, porque por ejemplo, a la basura no siempre se le coloca recubrimiento, ni se controlan los lixiviados.

CUADRO 4.2  
FORMAS DE DISPONER LAS BASURAS POR PARTE DE LAS MUNICIPALIDADES.

METODO DE DISPOSICION: "RELLENO SANITARIO" (\*).

San José	Tibás	San Carlos	Alajuelita
Escazú	Moravia	Cartago	Acosta
Desamparados	Montes de Oca	Paraíso	Grecia
Tarrazú	Curridabat	La Unión	Orotina
Aserri	Pérez Zeledón	Turrialba	
Mora	Alajuela	Heredia	
Goicoechea	San Ramón	Limón	

METODO DE DISPOSICION: BOTADERO.

Santa Ana	San Rafael	Carrillo	Parrita
Dota	San Isidro	La Cruz	Garabito
Poás	Liberia	Puntarenas	Matina
Santo Domingo	Santa Cruz	Esparza	Guácimo
Santa Bárbara	Bagaces	Montes de Oro	

METODO DE DISPOSICION: CREMATORIO (Quema de basura).

Puriscal	Dreamuno	Cañas	Aguirre
León Cortés	El Guarco	Abangares	Golfito
Atenas	Barva	Tilarán	Coto Brus
Palmares	Belén	Nandayure	Pococí
Alfaro Ruiz	Flores	Hojancha	
Valverde Vega	San Pablo	Colorado	
Upala	Nicoya	Buenos Aires	

METODO DE DISPOSICION: VERTIDO A RIO.

Coronado  
Naranjo  
Jiménez  
Osa  
Corredores  
Siquirres

(\*). No cumplen con todos los requerimientos de un relleno sanitario.  
FUENTE: IFAM, 1983.

La Gran Area Metropolitana está compuesta por 152 distritos pertenecientes a 31 cantones de cuatro provincias: San José, Alajuela, Cartago y Heredia. Constituye el 3.83% del territorio nacional. Poco más de la mitad de la población de Costa Rica reside o tributa directamente hacia la GAM (REF.#28).

En el cuadro #4.3, se muestra la cantidad de desechos ingresados a Río Azul producidos por los cantones del Convenio Intermunicipal, desde 1978 cuando se instaló la balanza.

CUADRO # 4.3

## DESECHOS SOLIDOS INGRESADOS A RIO AZUL

AÑO	TONELADAS	PROMEDIO DIARIO
1978	125756	344,5
1979	144560	396,0
1980	148242	406,1
1981	141853	388,6
1982	122530	335,7
1983	126976	347,9
1984	137296	376,2
1985	143268	392,5
1986	163659	448,4
1987	195934	536,8
1988	202769	555,5
1989	225412	617,6
1990	235601	645,5

En el cuadro # 4.4, se presenta la población de los cantons de la GAM, para 1990, y el cálculo de la cantidad de desechos producidos con base en el valor de 0.8 kg/día/per cápita. En el cuadro #4.5, se muestra una proyección de la población de los cantones de la GAM para

el 2000, utilizando una tasa de crecimiento del 2.9 % anual (ritmo proyectado del crecimiento de la población de la GAM en Costa Rica), y asumiendo que se mantendrá constante hasta ese año (REF.#28). La producción de desechos se calculó con el valor de 1 kg/día/per cápita.

CUADRO 4.4: PRODUCCION CANTONAL DE DESECHOS SOLIDOS AL DIA, GAM, 1990.  
 PROMEDIO: 0,8 Kg/dia/per cápita.

CANTONES	POBLACION	TONELADAS/DIA
San José	276 837	221,4
Escazú	42 117	33,6
Desamparados	146 058	116,8
Aserrí	41 576	33,2
Mora	14 524	11,6
Goicoechea	100 721	80,5
Santa Ana	24 971	19,9
Alajuelita	39 527	31,6
Coronado	32 527	26,0
Tibás	82 196	65,7
Moravia	47 758	38,2
Montes de Oca	44 995	35,9
Curridabat	50 396	40,3
Alajuela	157 025	125,6
Atenas	18 370	14,6
Poás	18 035	14,4
Cartago	11 945	89,5
Paraíso	33 933	27,1
La Unión	61 384	49,1
Alvarado	9 499	7,5
Oreamuno	31 239	24,9
El Guarco	27 626	22,1

CUADRO 4-4:Continúa.

CANTONES	POBLACION	TONELADAS/DIA
Heredia	76 800	61,4
Barva	26 024	20,8
Santo Domingo	31 157	24,9
Santa Bárbara	23 664	18,9
San Rafael	30 526	24,4
San Isidro	11 547	9,2
Belén	15 878	12,7
Flores	11 867	9,4
San Pablo	17 300	13,8
TOTAL	1 658 012	1325

CUADRO 4.5: PRODUCCION CANTONAL DE DESECHOS SOLIDOS AL DIA, GAM.  
 PROYECCION PARA EL 2000: 1 Kg/día/per cápita.

CANTONES	POBLACION	TONELADAS/DIA
San José	368 449	368,4
Escazú	56 055	56,1
Desamparados	194 392	194,4
Aserri	55 335	55,3
Mora	19 330	19,3
Goicoechea	134 052	134,1
Santa Ana	33 235	33,2
Alajuelita	52 607	52,6
Coronado	43 291	43,3
Tibás	109 397	109,4
Moravia	63 562	63,6
Montes de Oca	59 885	59,9
Curridabat	67 073	67,1
Alajuela	208 989	209,0
Atenas	24 449	24,4
Poás	24 003	24,0
Cartago	15 898	15,9
Paraíso	45 162	45,2
La Unión	81 698	81,7
Alvarado	12 642	12,6
Dreamuno	41 577	41,6
El Guarco	36 768	36,8

CUADRO 4.5: Continúa.

CANTONES	POBLACION	TONELADAS/DIA
Heredia	102 215	102,2
Barva	34 636	34,6
Santo Domingo	41 468	41,5
Santa Bárbara	31 495	31,5
San Rafael	40 628	40,6
San Isidro	15 368	15,4
Belén	21 132	21,1
Flores	15 794	15,8
San Pablo	23 025	23,0
TOTAL	2 206 690	2 206,7

En el cuadro #4.6, se presentan las cantidades diarias producidas desde 1992 hasta el 2016, en toda la GAM, asumiendo la tasa de crecimiento de la población de 2.9 %.

CUADRO 4.6 PRODUCCION DIARIA DE DESECHOS SOLIDOS DE LA GAM EN LOS PROXIMOS 25 AÑOS.

ARO	POBLACION Pi	PRODUCCION PER CAPITA (Kg/día) Wi	PRODUCCION TOTAL (Ton/día)
1992	1 755 571	0,84	1474,7
1993	1 806 483	0,86	1553,6
1994	1 858 871	0,88	1635,8
1995	1 912 778	0,90	1721,5
1996	1 968 248	0,92	1810,8
1997	2 025 328	0,94	1903,8
1998	2 084 062	0,96	2000,7
1999	2 144 500	0,98	2101,6
2000	2 206 690	1,00	2206,7
2001	2 270 684	1,02	2316,1
2002	2 336 534	1,04	2430,0
2003	2 404 294	1,06	2548,6
2004	2 474 018	1,08	2671,9
2005	2 545 765	1,10	2800,3
2006	2 619 592	1,12	2933,9
2007	2 695 560	1,14	3072,9
2008	2 773 731	1,16	3217,5
2009	2 854 170	1,18	3367,9
2010	2 936 941	1,20	3524,3
2011	3 022 119	1,22	3687,0
2012	3 109 753	1,24	3856,1
2013	3 199 936	1,26	4031,9
2014	3 292 734	1,28	4214,7
2015	3 388 223	1,30	4404,7
2016	3 486 482	1,32	4602,2
TOTAL		$\Sigma Wi*Pi$	70 089,2

La cantidad de desechos sólidos que se generará en los próximos 25 años es de unos 25,6 millones de toneladas. Para dar una idea, se calculará el área de terreno que dicha cantidad requeriría en un relleno sanitario, asumiendo que no hay recuperación de materiales.

El volumen de relleno sanitario requerido se calcula mediante la fórmula:

$V = 365 * (W * P) * F_c * T / D$ , donde:

V= Volumen de relleno sanitario requerido en m<sup>3</sup>.

D= Densidad de la basura en el relleno en kg/m<sup>3</sup>.

F<sub>c</sub>= Factor del material de cobertura en m<sup>3</sup>.

T= Periodo considerado en años.

$W * P = (W_i * P_i) / T$ , donde:

W<sub>i</sub>= Cantidad de basura en kg/día/per cápita en el año i.

P<sub>i</sub>= Población en el año i.

Si se utiliza la relación de 1 parte de material de cobertura por cada 4 partes de desechos sólidos, F<sub>c</sub>=1.25, la fórmula anterior queda:

$$V = 365 * (W * P) * 1,25 * T / D = 456 * (W * P) * T / D$$

Se supondrá que la densidad de compactación de la basura en el relleno es de 550 kg/m<sup>3</sup>.

$$V = 456 * 70089200 / 550 = 58\ 110\ 319\ m^3.$$

Si la profundidad promedio del relleno es de 7m, el área que se requiere es de unas 830 Ha, lo que representa unas 13 veces el área que hoy tiene el sitio Río Azul. Cabe recordar que este cálculo se hizo suponiendo que no había ningún tipo de reciclaje de desechos. En el cuadro siguiente se muestra la composición de los desechos en Río Azul.

#### CUADRO # 4.7

## COMPOSICION PROMEDIO DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN RIO AZUL

MATERIAL	COMPOSICION
PLASTICOS	5,65 %
PAPEL Y FIBRAS	17,80 %
MADERA	1,30 %
PUTRESCIBLES	62,10 %
METALES	1,35 %
INERTES	11,71 %
TOTAL	100,00 %

Si se recuperara, por ejemplo un 80 % del total de plásticos y papeles solamente, el área requerida disminuiría en un 20 %.

## 4.2. SITUACION DEL FERROCARRIL ELECTRICO AL PACIFICO.

### 4.2.1. FUNCIONES DE INCOFER.

El Sistema Ferroviario de Costa Rica, es administrado por el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), el cual tiene autonomía. En la figura #4.1 se muestra el recorrido que efectúa el Ferrocarril Eléctrico al Pacífico y el cuadro #4.8 lista las estaciones y las distancias entre ellas. Su principal actividad es el transporte desde y hacia diferentes lugares del país. Tiene además una actividad secundaria que es el transporte de pasajeros (REF.#32). Otras de las funciones, son la administración y el gobierno de los ferrocarriles del Estado bajo una sola dirección y la promoción del financiamiento integral para:

- Ejecutar las obras urgentes y adquirir el equipo y repuestos indispensables para el buen funcionamiento de los ferrocarriles.

- Llevar a cabo los estudios de factibilidad económico-financieros del plan de desarrollo de ferrocarriles.
- Obtener el diseño de las obras.
- Construir las y ponerlas en ejecución.

El transporte de carga se puede dividir del siguiente modo:

- Flete de banano.
- Flete local: de un punto a otro del país.
- Flete de exportación: café, cemento, arroz.
- Flete de importación.
- Flete de arena y piedra: producidas por la misma empresa.

Los principales clientes del ferrocarril son:

- Compañías bananeras.
- Consejo Nacional de Producción.
- Productores de cemento.

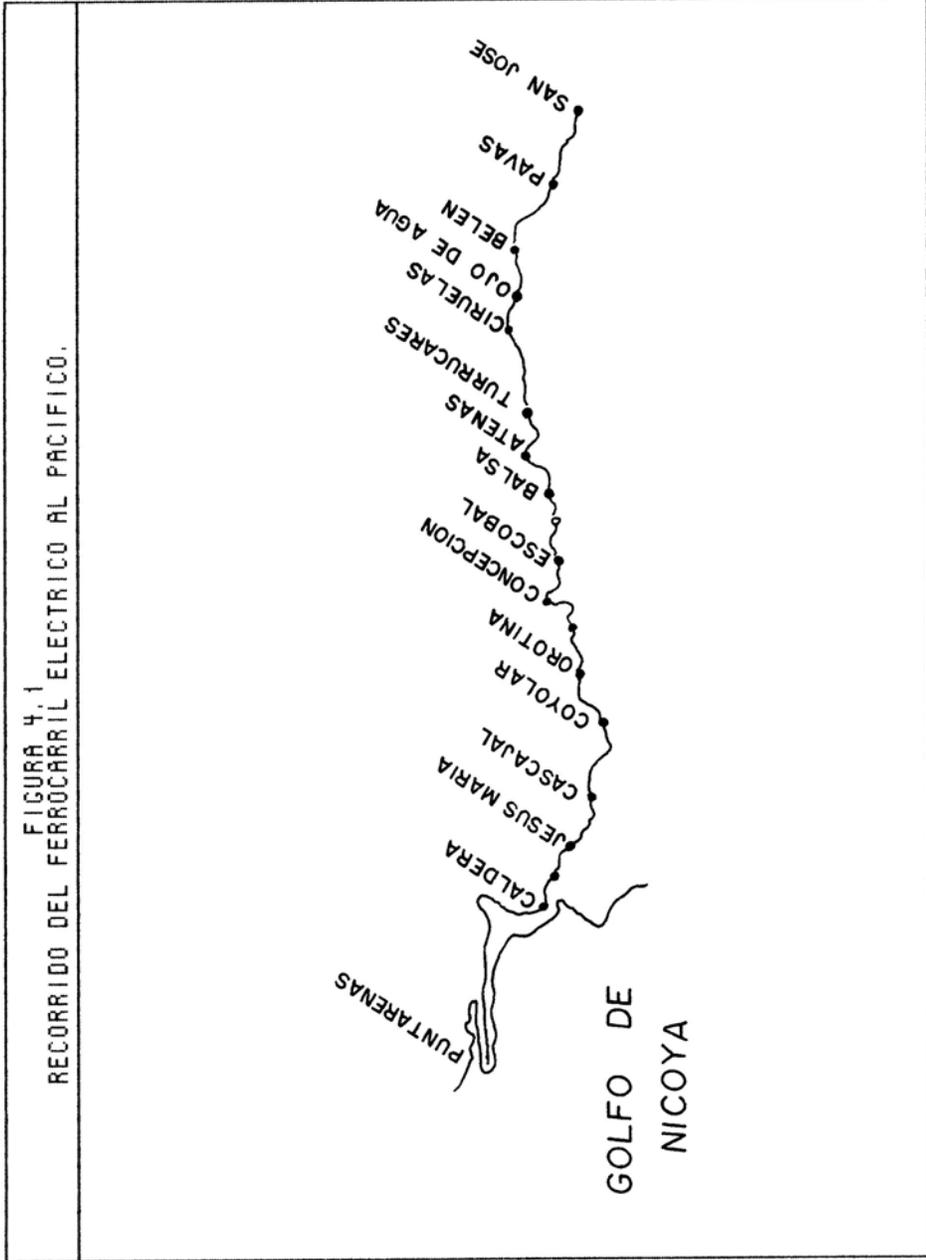


FIGURA 4.1  
RECORRIDO DEL FERROCARRIL ELECTRICO AL PACIFICO.

CUADRO # 4. 8  
PRINCIPALES ESTACIONES AL PACIFICO

ESTACIONES	DISTANCIA DESDE SAN JOSE (Km)
SAN JOSE	0,0
PAVAS	6,2
SAN ANTONIO	14,4
OJO DE AGUA	18,7
CIRUELAS	22,7
TURRUCARES	30,0
CEBADILLA	34,6
ATENAS	37,3
BALSA	41,8
ESCOBAL	49,7
QUEBRADAS	52,5
CONCEPCION	56,0
DANTAS	59,0
HACIENDA VIEJA	62,2
OROTINA	66,3
COYOLAR	71,0
POZON	74,0
CEIBA	76,4
CASCAJAL	79,2
JESUS MARIA	85,0
SALINAS	89,2
CALDERA	93,0
BARRANCA	102,0
ROBLE	106,0
CHACARITA	110,0
PUNTARENAS	116,0

#### **4.2.2. FINANCIAMIENTO DE INCOFER Y DEFICIT OPERATIVO.**

Como lo estipula la Ley 7001, El INCOFER cuenta con un ingreso de 210 millones que debe aportar el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, para el mantenimiento de las vías férreas. También le corresponden 0.20 dólares del impuesto del banano por caja exportada.

El déficit operativo acumulado del ferrocarril se remonta a los tiempos de la Northern en el Atlántico y JAPDEVA, quienes fueron desplazadas en materia ferroviaria por FECOSA, ente interventor que heredó el déficit operativo. Debido a esto y al desfinanciamiento, la empresa no se pudo desarrollar y no se pudo estructurar el transporte ferroviario nacional. Como consecuencia, la empresa entró en crisis económica y no pudo darle mantenimiento al equipo tractivo y rodante, lo que llevó a la pérdida del mercado de transporte. Además, la facilidad de acceso a las instalaciones portuarias por carretera, la construcción de modernas autopistas y caminos de penetración y la importación de cabezales y furgones, han contribuido a mejorar el transporte de carga por carretera, mientras que el ferrocarril es incapaz de satisfacer las exigencias de la demanda y mantener un nivel de competencia.

La operación de los ferrocarriles aún con gran déficit, se ha justificado como consecuencia al aporte de este tipo de servicio en el beneficio público. Las políticas del Estado en materia de transporte, de incentivar los modos socialmente más ventajosos para la colectividad ha hecho que se mantenga la actividad no rentable del transporte por ferrocarril. La inercia administrativa que existe ante los cambios producidos por el desarrollo de los demás medios de transporte, en respuesta al crecimiento económico del país, ha ocasionado un grave problema, y es que este tipo de servicio no posee los instrumentos para la fijación de precios. Esta falta de métodos ha ocasionado la aplicación de apreciaciones subjetivas en la fijación tarifaria.

En resumen, los factores netamente operativos que impiden una competencia con los demás medios de transporte y la mala fijación de tarifas, están provocando los grandes déficits con que funciona hoy en día el ferrocarril. La institución ha trabajado los últimos años, con pérdidas diarias de hasta dos y medio millones de colones.

En el cuadro #4.9, se puede observar el total de carga movilizada por esta Institución en 1990, con ingresos de 500 millones de colones. Si se compara esta cifra con el total de los costos de ese mismo año, 1500 millones de colones, se concluye que solamente se recupera la tercera parte de los costos con el sistema tarifario actual.

CUADRO 4.9  
 TOTAL DE CARGA MOVILIZADA POR TIPO DE FLETE PARA 1990.  
 (EN COLONES)  
 SECTORES: PACIFICO Y ATLANTICO.

TIPO DE FLETE	PRIMER SEMESTRE	SEGUNDO SEMESTRE	TOTAL
Local	57 960 755	38 234 858	96 195 613
Encomienda	0	2 341 568	2 341 568
Empresa	11 034 934	10 061 946	21 096 880
Arena, piedra	0	0	0
Importación	68 733 673	62 115 005	130 848 678
Exportación	392 265	25 755	418 020
Banano	131 198 431	118 140 164	249 338 595
TOTAL	258 285 124	220 857 350	479 142 474

FUENTE: INCOFER, 1991.

### **4.3. CONSIDERACIONES PARA LA FACTIBILIDAD TECNICA.**

#### **4.3.1. VEHICULOS PARA EL TRANSPORTE.**

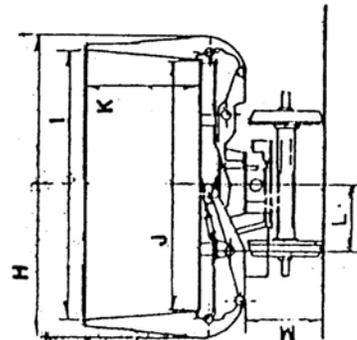
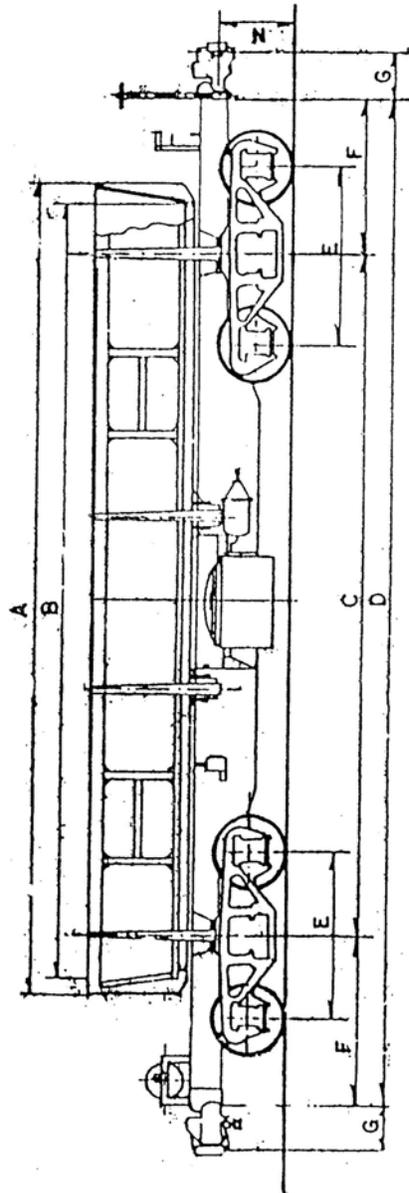
Hay algunas variantes en el transporte ferroviario. En la estación de Brentford, Inglaterra, se transfiere la basura hacia trenes de góndolas, sobre las cuales se montan contenedores. En la estación de transferencia se introducen los desechos sólidos en los contenedores, mediante mecanismos que los reducen de volumen. En la ciudad de Omaha, Nebraska (EEUU), se utiliza un sistema de trenes de plataformas, los cuales transportan fardos de basura. En la estación de transferencia, se realiza el proceso de enfardamiento. En Wijster, Holanda, se transportan los desechos sólidos a granel, en trenes de 16 a 18 vagones de 35 toneladas cada uno.

En los dos primeros casos, se requieren tecnologías costosas. El primero incluye la utilización de un sistema de compactación con prensas o pistones y placas, que empujen la basura hacia el interior de los contenedores. Este sistema de carga, implica una estación de transferencia compleja, cuya infraestructura es costosa. El segundo, incluye una prensa enfardadora, de alta presión, que implica también la necesidad de una estación de transferencia compleja. El tercer ejemplo es una opción más accesible, desde el punto de vista técnico. Los desechos no son compactados ni enfardados, al ser transferidos desde los camiones recolectores hacia los vagones. Los costos por inversiones iniciales son altos, y en este caso no convendría diseñar un sistema de transporte ferroviario de desechos, con carros especiales que haya que comprar en el extranjero.

El INCOFER posee un tipo de carro llamado de volteo. Son utilizados por la empresa para transportar arena. Tienen una capacidad volúmetrica de 12 metros cúbicos, y pueden llevar una carga máxima de 30 ton. Podrían utilizarse para el transporte de los desechos luego de realizarles algunas modificaciones, que aseguren entre otras cosas, el no derramamiento de la basura y líquidos a lo largo del recorrido.

En la figura #4.2, se muestra un vagón de volteo utilizado en nuestro país. La descarga se hace mediante el uso de pistons hidráulicos los cuales inclinan la carrocería hasta un ángulo determinado, como se muestra en la figura #4.3. Los carros son utilizados por INCOFER, para el transporte de arena, y el ángulo es tal que con el volteo se asegura que toda la carga es depositada en el suelo. El volteo puede hacerse hacia cualquiera de los dos costados, ya que a ambos lados existe un sistema de pistones. En ocasiones, el INCOFER aprovecha estos carros de volteo para el transporte de los desechos sólidos que se producen en su propia planta de mantenimiento en San José.

FIGURA 4.2  
 VAGON DE VOLTEO DEL INSTITUTO COSTARRICENSE DE FERROCARRILES.

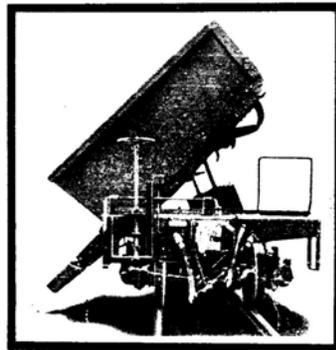
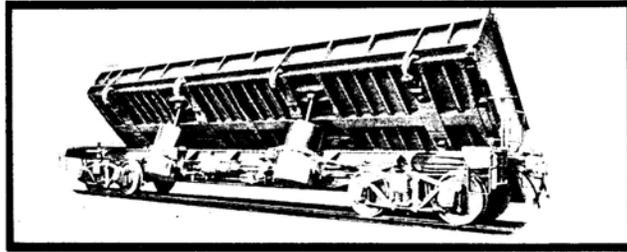


Carro número:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Capacidad Carga	7050	6750	5910	8730	1600	1410	451.5	2700	2414	2262	764	620
30 T.												

NOTA: Medidos en milímetros

M	N
690	711

FIGURA 4.3  
SISTEMA HIDRAULICO DE VOLTEO.



FUENTE: INCOFER.

La institución posee tres tipos de carros de volteo, dos de ellos son americanos (comprados a la empresa Gregg), y el otro es japonés. El sistema de volteo, como se mencionó anteriormente, funciona hidráulicamente. Al igual que el sistema de frenado, se utiliza aire comprimido. La máquina se abastece a sí misma por un compresor que carga 140 lib/pulg<sup>2</sup> de presión. Por otro lado, regula la presión que debe pasar a todos los vagones, los cuales tienen unos depósitos de aire que aceptan 70 lib/pulg<sup>2</sup> como máximo. Los depósitos mencionados hacen funcionar los frenos y el sistema de volteo por medio de válvulas electro-neumáticas.

El sistema de volteo del carro americano más reciente incluye un cilindro de volteo a cada lado, para que la función se pueda efectuar hacia cualquier costado. Estos cilindros están cubiertos por una camisa de acero, y dentro del cilindro se encuentra el pistón hidráulico. Este carro fue construido por la empresa Gregg. En el carro americano más antiguo, el funcionamiento es casi similar al anterior. La diferencia estriba en que este último, tiene un depósito de aire comprimido por lado, y no los dos de un mismo costado. El volteo también lo realiza hacia cualquier lado.

Las modificaciones importantes que habría que realizar conciernen a la capacidad volumétrica. Si la densidad promedio de los desechos sólidos es de unos 450 kg/m<sup>3</sup>, los carros de 12 m<sup>3</sup> cargarían apenas 5.4 toneladas de basura: menos del 20 % de la capacidad total. Por lo tanto la solución sería, aumentar la altura de las paredes, para aumentar el volumen. Según el ingeniero mecánico encargado del taller del INCOFER, esto no representa ninguna dificultad. Como se observa en la figura #4.2, la altura (K) de las paredes del carro es apenas 76.4 cm. Si se incrementa esta altura, el volumen y la carga de desechos sólidos serían mayores.

Otro aspecto técnico que no se debe olvidar es el evitar la voladura de desechos. La transferencia de la basura se haría por simple gravedad, por lo que los carros de volteo no deben estar cerrados por la parte superior. Sin embargo, para evitar el derrame de la basura, los carros deben viajar cubiertos. La solución a esto es la utilización de lonas gruesas y fuertes amarradas en la parte superior de los carros, procurando el objetivo propuesto, además de hacer mínima la salida de olores desagradables.

El equipo que está disponible es el siguiente, según datos de la Dirección de Transportes del INCOFER:

CARROS DE VOLTEO	BUENOS	EN REPARACION
PACIFICO	6	2
ATLANTICO	8	6
TOTAL	14	8

El sistema dispone de las siguientes máquinas en servicio:

#### MAQUINAS DEL SECTOR PACIFICO

CAPACIDAD	360 TON	300 TON	180 TON
FUNCIONAMIENTO	ELECTRICA	DIESEL-ELECT	ELECTRICA
POTENCIA(VOLTIOS)	25000	15000	15000
CANTIDAD	12	4	9

### **4.3.2. ESTACIONES Y SISTEMA DE TRANSFERENCIA.**

#### **4.3.2.1. SISTEMA DE TRANSFERENCIA.**

Como se mencionó en el apartado anterior, el proceso de transferencia de los camiones recolectores hacia los carros del tren, debe realizarse por simple gravedad. Los costos en la planta de transferencia son menores que si se emplean sistemas de compactación, y de carga. Las estaciones de transferencia, deben estar ubicadas en sitios estratégicos, adonde lleguen los camiones recolectores, para que se minimice la distancia total que tengan que recorrer. En dichas estaciones, deben construirse las facilidades necesarias para que:

- El tren de carros de volteo pueda ingresar.

- Se realice la transferencia.

En el primer punto se deben tomar en cuenta todos los aspectos concernientes a la construcción de líneas férreas. En cuanto a la transferencia de desechos, debe tomarse en cuenta un aspecto importante: debe existir algún mecanismo que permita el amontonamiento de los desechos en caso de que no se encuentren presentes los carros de volteo, y para evitar el retraso innecesario de los vehículos recolectores.

La solución a esto es una tolva, que pueda retener cierta cantidad de basura, donde los camiones de la recolección vacíen su carga, aún en ausencia de los carros de volteo. En la parte inferior de la tolva, se construye un sistema de compuertas, que se mantienen cerradas cuando no hay transferencia.

#### **4.3.2.2. UBICACION DE LAS ESTACIONES.**

Se buscarán a continuación los sitios donde construir las estaciones de transferencia para la basura de la GAM. El método que se utilizará en este trabajo, es el explicado en el capítulo 3. Para la GAM, se hace necesario separar en dos grupos los cantones tributarios. Se excluyen los de la provincia de Cartago (La Unión sí se toma), quedando entonces 26 cantones. Los centros productores de la GAM, se muestran en el mapa #2. Se señalan también las rutas más importantes que pueden seguir los camiones recolectores para llegar hasta la línea férrea. Para la Estación 1 más grande, se tomarán en cuenta 18 cantones, y para la Estación 2 los restantes 8. Si se calcula el tonelaje producido para el 2000 en el cuadro #4.5, la primera tendría una capacidad de 1200 ton/día y la segunda una capacidad de unas 300 ton /día, considerando una cobertura de recolección de 80 %. Se debe recordar que en este tonelaje se supuso que no había recuperación de materiales, por lo que puede ser mucho menor.

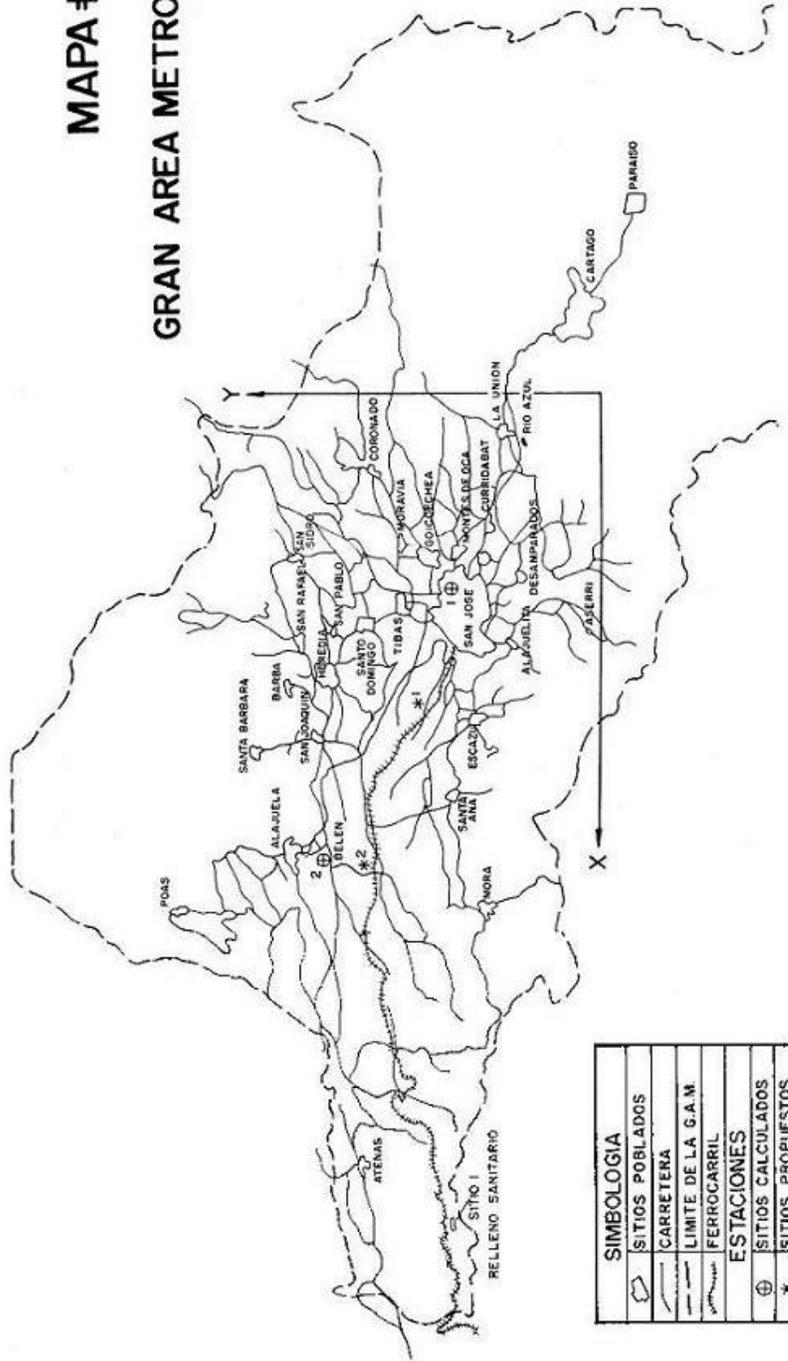
En el mapa #2 se observa que la GAM se orienta de este a oeste, en el mismo sentido del recorrido del ferrocarril. Debido a esto, es necesario establecer dos sitios para

las estaciones de transferencia, uno situado cerca de San José y el otro más hacia el oeste, en las cercanías de San Antonio de Belén.

# MAPA # 2

## GRAN AREA METROPOLITANA

ESCALA 1:200 000



SIMBOLOGIA	
	SITIOS POBLADOS
	CARRETERA
	LIMITE DE LA G.A.M.
	FERROCARRIL
ESTACIONES	
	SITIOS CALCULADOS
	SITIOS PROPUESTOS

Para ubicar los centros de gravedad, se aplicaron los momentos de transporte, por lo que se escogió el sistema de coordenadas que está indicado. En los cuadros #4.10 y #4.11, se resume el procedimiento utilizado. Se indican las coordenadas de cada área productora, así como el tonelaje tomado del cuadro #4.5, y se efectúa el cálculo. Los resultados obtenidos ubicaron la Estación 1, en el centro de la ciudad de San José, y la Estación 2, a 1 kilómetro al sur de la ciudad de Alajuela.

CUADRO # 4.10  
UBICACION DE ESTACION DE TRANSFERENCIA #1

CANTON	X (Km)	Y (Km)	TONELAJE T	X*T	Y*T
1.SAN JOSE	12,50	7,50	368,4	4605	2763
2.ESCAZU	18,75	6,75	56,1	1052	379
3.DESAMPARADOS	10,25	4,00	194,4	1993	778
4.ASERRI	13,50	0,50	55,3	747	28
6.GOICOECHEA	9,50	9,75	134,1	1274	1307
8.ALAJUELITA	14,50	5,00	52,6	763	263
9.CORONADO	4,25	13,00	43,3	184	563
10.TIBAS	12,50	11,50	109,4	1368	1258
11.MORAVIA	8,75	11,25	63,6	557	716
12.MONTES DE OCA	8,75	8,25	59,9	524	494
13.CURRIDABAT	7,50	6,25	67,1	503	419
17.LA UNION	2,25	5,75	81,7	184	470
18. HEREDIA	16,50	15,25	102,2	1686	1559
19.BARVA	17,25	17,75	34,6	597	614
20.STO DOMINGO	13,50	13,50	41,5	560	560
22.SAN RAFAEL	14,25	17,00	40,6	579	690
23.SAN ISIDRO	9,50	17,50	15,4	146	270
26.SAN PABLO	14,00	15,25	23,0	322	351
TOTALES			1543,2	17644	13482

Y= 13482/1543,2=8,7 Km del eje X.

X= 17644/1543,2=11,4 Km del eje Y.

CUADRO # 4.11  
UBICACION DE ESTACION DE TRANSFERENCIA # 2

CANTON	X (Km)	Y (Km)	TONELAJE T	X*T	Y*T
5.MORA	30,00	6,25	19,3	579	121
7. SANTA ANA	23,25	8,25	33,2	772	274
14.ALAJUELA	27,00	17,50	209,0	5643	3658
15.ATENAS	45,00	13,50	24,4	1098	329
16.POAS	30,25	24,00	24,0	726	576
21. STA.BARBARA	21,00	19,50	31,5	662	614
24.BELEN	23,75	13,75	21,1	501	290
25.FLORES	20,00	16,00	15,8	316	253
TOTALES			378,3	10297	6115
$\bar{X} = 10297/378,3 = 27,2$ Km del eje Y.					
$\bar{Y} = 6115/378,3 = 16,1$ Km del eje X.					

Estos resultados demuestran que la Estación 1 debe situarse en algún sitio de la capital, en un predio al margen de la vía férrea. Este sitio puede ser ubicado cerca de Pavas. De esta manera, los cantones más alejados como Aserrí, Escazú y Coronado minimizan las distancias de transporte y se dirigen hacia la estación cuesta abajo. En cuanto a la Estación 2, el resultado sugiere la escogencia de un sitio cerca de Ojo de Agua, que se encuentra también al paso del tren. De esta manera también se equilibran las distancias de transporte entre los cantones más alejados entre sí, como Mora y Santa Bárbara o Poás, por ejemplo. En el mapa #2, se muestran los dos sitios obtenidos mediante el cálculo y los dos sitios sugeridos.

#### **4.4. CONSIDERACIONES PARA LA FACTIBILIDAD ECONOMICA.**

##### **4.4.1. COSTOS DE LA PROPUESTA.**

Los costos totales de un sistema de transporte de desechos mediante el ferrocarril al Pacífico y tratamiento en relleno sanitario serían los siguientes:

##### 1) Costo de inversión.

- 1.1) Maquinaria de relleno sanitario.
- 1.2) Infraestructura de relleno sanitario.
- 1.3) Camiones recolectores.
- 1.4) Infraestructura de estaciones de transferencia.
- 1.5) Maquinaria de estación de transferencia.

##### 2) Costos de operación.

- 2.1) Costos de operación del relleno sanitario.
- 2.2) Costos de operación y mantenimiento de las estaciones de transferencia.
- 2.3) Costos de operación y mantenimiento del sistema ferroviario.

#### 2.4) Costo de operación de los vehículos recolectores.

Todos estos costos deben cuantificarse en el estudio de factibilidad económica, ya que, para justificar el uso del sistema ferroviario y las estaciones de transferencia, el costo total de recolección, transferencia, transporte y disposición final debe ser menor que el costo total de recolección, acarreo directo y disposición final, para un mismo sitio de destino. Río Azul ya no es una opción de disposición, por lo que deben evaluarse otros sitios.

#### 4.4.2. COSTO UNITARIO DE TRANSPORTE POR FERROCARRIL.

Se hará un estudio aproximado de los costos que representa el acarreo de mercancías y pasajeros, en el sistema ferroviario del país. El Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), presta dos tipos de servicio hacia los sectores del Atlántico y del Pacífico: fletes de todo tipo de materiales y transporte de personas. El objetivo es determinar cuáles son los costos totales, fijos y variables que tiene la institución, para calcular un costo unitario por tonelada de mercancía transportada, dividiendo el costo total entre el tonelaje total transportado al año. Este costo unitario por tonelada transportada, da una idea inicial de los costos que representaría el transporte de desechos sólidos por medio de ferrocarril.

La contabilidad de costos que se efectúa en el INCOFER, agrupa todos los gastos incurridos por la institución en las cuentas que se listan a continuación. La fuente de esta información fue la Dirección Financiera del INCOFER.

Cuenta #	Descripción
5110	Gastos de mantenimiento de vías y estructuras
5120	Gastos mantenimiento equipo rodante
5131	Mantenimiento de talleres
5132	Planta de Tacaes

5150	Transportes
5190	Gastos generales y operación
5200	Gastos de operación servicios conexos
5500	Gastos de administración
5700	Gastos financieros

Todos estos gastos incluyen ambos sectores: Pacífico y Atlántico.

En un estudio de la División General de Transportes del MOPT en 1983, se realizó el análisis de la estructura tarifaria de los ferrocarriles. Se estudiaron los gastos generales antes mencionados, y se distribuyeron en costos fijos y variables para el transporte de mercancías y pasajeros. Esto último fue realizado por medio de métodos estadísticos, puesto que en el INCOFER, no se lleva una contabilidad de costos específica, en donde se indique claramente, el costo por tipo de carga transportada.

Los resultados fueron los siguientes: Los costos del transporte de pasajeros representaron el 21,09 % del costo total, y los costos por fletes de mercancías fueron el 78,91 % del costo total. Por su parte, del costo total de transporte de mercancías, el 73,94 % fue costo fijo y el restante 26,06 %, costo variable (REF#.27).

Para actualizar los datos de gastos, se revisaron los estados financieros en la Dirección Financiera del INCOFER. Los registros son de 1990. En el cuadro #4.12, se presenta esta información. La división 1 corresponde al sector atlántico y la división 2, al sector pacífico.

CUADRO # 4.12

GASTOS TOTALES DE 1990 (EN COLONES).

1) 5110 GASTOS MANTENIMIENTO DE VIAS Y ESTRUCTURAS.

Dirección de vías y estruct.(administración)	13 417 761,95
Dir vías estruct. depto div.1	188 779 338,01
Dir vías estruct. depto div.2	116 672 595,71
SUBTOTAL	318 869 695,67

2) 5120 GASTOS MANTENIMIENTO EQUIPO RODANTE.

Gastos mant. eq. rodante(administración)	50 444 651,56
Gastos mant. eq. rodante div. 2	84 935 829,08
Gastos mant. eq. rodante div. 1	221 254 396,91
SUBTOTAL	356 634 877,55

3) 5131 MANTENIMIENTO DE TALLERES.

Administración	821 543,22
Mant. talleres dep.elect.div.2	7 667 201,18
Mant. talleres dep.elect.div.1	8 779 658,99
SUBTOTAL	17 268 403,39

4) 5132 MANTENIMIENTO PLANTA TACARES.

Administración	38 015,00
Depto electromecánico div.2	10 078 402,75
SUBTOTAL	10 116 417,75

5) 5150 GASTOS DE TRANSPORTES.

Gastos de transp.(administración)	27 819 259,47
Depto. tráfico div.1	314 304 350,07
Depto. tráfico div.2	100 854 987,71
Depto. comercial	3 049,40
SUBTOTAL	442 981 646,65

6) 5190 GASTOS GENERALES DE OPERACION.

Gerencia	39 185 148,91
----------	---------------

7) 5200 GASTOS DE OPERACION SERVICIOS CONEXOS.

Depto. electromecánico div. 1	0
Depto. electromecánico div. 2	822,00
Comunicaciones	11 020 090,74
SUBTOTAL	11 020 912,74

8) 5500 GASTOS DE ADMINISTRACION.

SUBTOTAL	C 245 851 265,2
----------	-----------------

9) 5700 GASTOS FINANCIEROS.

SUBTOTAL	50 450 306,29
----------	---------------

TOTAL DE GASTOS	1 492 409 990,00
-----------------	------------------

Este es el total de gastos en ambos sectores.

En el cuadro # 4.13, se muestran los totales de carga movilizada por tipo de flete, en el sector del Pacífico, en 1990. Como se observa, se transportaron 294208 toneladas en

mercancía. Por su parte el ferrocarril al Atlántico transportó en ese mismo año, 514636 ton. A continuación, se determinarán los costos unitarios por tonelada, correspondientes al sector del Pacífico únicamente, analizando cada renglón de las cuentas que se listan en el cuadro #4.12.

CUADRO 4.13  
 TOTAL DE CARGA MOVILIZADA POR TIPO DE FLETE PARA 1990.  
 (EN TONELADAS)  
 SECTOR PACIFICO.

TIPO DE FLETE	PRIMER SEMESTRE	SEGUNDO SEMESTRE	TOTAL
Local	35 372	36 179	71 551
Encomienda	0	2 849	2 849
Empresa	11 019	8 973	19 992
Arena, piedra	0	0	0
Importación	97 236	101 881	199 117
Exportación	699	0	699
Banano	0	0	0
TOTAL	145 126	149 082	294 208

FUENTE: INCOFER, 1991.

1) COSTO POR MANTENIMIENTO DE VIAS Y ESTRUCTURAS.

A) División 2 (Pacífico): C 116 672 595,71

B) Sección administrativa: se calculará la proporción que corresponde al sector del Pacífico:  
 $13\,417\,137,95 * [116\,672\,595,71 / (116\,672\,595,71 + 188\,779\,338,01)] =$   
C 5 124 905,55

C) Total: C 121 798 125,30. Este es el costo de transporte de mercancías y pasajeros conjuntamente. Se asumirá aquí, al igual que en las restantes cuentas, que para 1990, la proporción del costo de transporte de mercancías es la misma que la obtenida mediante el estudio del MOPT: 78,91% (REF.#27).

El costo por transporte de mercancías es entonces:

$$C\,121\,798\,125,30 * 78,91\% = C\,96\,110\,900,67$$

D) Costo unitario:

El costo unitario por tonelada de mercancía es:

$$C\,96\,110\,900,67 / 294\,208 = C\,326,69/\text{ton.}$$

2) COSTO POR MANTENIMIENTO DE EQUIPO RODANTE.

A) División 2: C 84 935 829,08.

B) Administración: se partirá esta cuenta proporcionalmente:  
 $50\,444\,651,56 * [84\,935\,829,08 / (84\,935\,829,08 + 221\,254\,396,91)] =$   
C 13 993 125,64

C) Costo total: C 98 928 954,72

El costo correspondiente a las mercancías es:

$$98\,928\,954,72 * 78,91\% = 78\,064\,838,17$$

D) Costo unitario:

$$C 78 064 838,17 / 294 208 = C 265,34/\text{ton.}$$

### 3) COSTO POR MANTENIMIENTO DE TALLERES.

A) División 2: C 7 667 201,18

B) Administración:

$$821 543,22 * [7 667 201,18 / (7 667 201,18 + 8 779 658,99)] =$$

$$C 382 987,21$$

C) Costo total: C 8 050 188,39

El costo correspondiente a las mercancías es:

$$C 8 050 188,39 * 78,91\% = 6 352 403,66$$

D) Costo unitario:

$$C 6 352 403,66 / 294 208 = C 21,59/\text{ton.}$$

### 4) COSTO POR MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TACARES.

A) Costo total: C 10 116 417,75

B) El costo correspondiente a las mercancías es:

$$C 10 116 417,75 * 78,91\% = C 7 982 865,25$$

C) Costo unitario:

$$C 7 982 865,75 / 294 208 = C 27,13/\text{ton.}$$

### 5) COSTO POR TRANSPORTES.

A) Depto. tráfico div.2: C 100 854 987,71.

B) Administración:

$$27\,819\,259,47 * [100\,854\,987,71 / (100\,854\,987,71 + 314\,304\,350,07)] = \\ C\,6\,758\,154,80$$

C) Departamento comercial: C 3 049,40

D) Costo total: C 107 616 191,90

E) El costo correspondiente a las mercancías es:

$$C\,107\,616\,191,90 * 78,91\% = C\,84\,919\,937,03$$

F) Costo unitario:

$$C\,84\,919\,937,03 / 294\,208 = C\,288,64/\text{ton.}$$

#### 6) COSTOS GENERALES DE OPERACION.

Este costo, al igual que los siguientes, se distribuirá proporcionalmente entre los dos sectores: pacífico y atlántico. Se tomará en cuenta el tonelaje que se movilizó en cada sector en todo el año, a saber, 294 208 toneladas en el Pacífico y 514 636 toneladas en el Atlántico.

A) Costo correspondiente a las mercancías:

$$C\,39\,185\,148,91 * 78,91\% = C\,30\,921\,001$$

B) Sector del Pacífico.

$$C\,30\,921\,001 * [294\,208 / (294\,208 + 514\,636)] = \\ C\,11\,247\,169,87$$

C) Costo unitario:

$$C\,11\,247\,169,87 / 294\,208 = C\,38,23/\text{ton.}$$

## 7) COSTOS DE OPERACION DE SERVICIOS CONEXOS.

A) Costo correspondiente a las mercancías:

$$C 11 020 912,74 * 78,91\% = C 8 696 602,24$$

B) Sector del Pacífico.

$$C 8 696 602,24 * [ 294 208 / (294 208 + 514 636)] = \\ C 3 162 954,23$$

C) Costo unitario:

$$C 3 162 954,23 / 294 208 = C 10,75/ \text{ton.}$$

## 8) COSTOS POR ADMINISTRACION.

A) Costo correspondiente a las mercancías:

$$C 245 851 265,2 * 78,91\% = C 194 001 233,40$$

B) Sector del Pacífico.

$$C 194 001 233,40 * [ 294 208 / (294 208 + 514 636)] = \\ C 70 565 788,8$$

C) Costo unitario:

$$C 70 565 788,8 / 294 208 = C 239,85/ \text{ton.}$$

## 9) COSTOS FINANCIEROS.

A) Costo correspondiente a las mercancías:

$$C 50 450 306,29 * 78,91\% = C 39 810 336,69$$

B) Sector del Pacífico.

$$C 39 810 336,69 * [ 294 208 / (294 208 + 514 636)] = \\ C 14 479 019,45$$

C) Costo unitario:

$$C 14\ 479\ 019,45 / 294\ 208 = C 49,22 / \text{ton.}$$

#### 10) COSTO TOTAL.

El costo total por tonelada transportada fue de C 1267,43 en 1990, en el sector del Pacífico . En el cuadro #4.14, se resume la información anterior. La partición de este costo total en costo variable y fijo, se hará con base en los resultados del estudio realizado por el MOPT, de la estructura tarifaria de los ferrocarriles nacionales (REF.#27).

CUADRO # 4.14 RESUMEN DE COSTOS DEL FERROCARRIL EN EL TRANSPORTE DE MERCANCIAS. SECTOR PACIFICO, 1990.	
CUENTA	COSTO (COLONES/TON)
Mantenimiento de vías y estructuras	326,69
Mantenimiento de equipo rodante	265,34
Mantenimiento de talleres	21,59
Mantenimiento de la planta Tacaes	27,13
Transportes	288,64
Operación	38,23
Servicios conexos	10,75
Administración	239,85
Costos financieros	49,22
TOTAL	1267,43

El porcentaje correspondiente a los costos fijos fue de 73,94% y el de costos variables 26,06%. De esta manera, con los costos actualizados, la partición sería:

Costos fijos: C1267,43/ton \* 73,94%= C937,14/ton

Costos variables: C1267,43/ton \* 26,06%= C330,29/ton

Costo total: 100,00% C1267,43/ton

A continuación se presenta el número de viajes que realizó el ferrocarril al Pacífico ese mismo año.

Los recorridos más usuales son los siguientes:

San José- Puntarenas...116 Km

San José- Salinas.....89 Km

Barranca- Molinos.....86 Km

Fertica-San José.....110 Km

Salinas- Molinos.....77 Km

En la Dirección de Transportes de la institución, se lleva un registro diario de los viajes efectuados para el transporte de fletes. Con base en estos datos se calculó que la distancia promedio por viaje es de 93,5 Km. A continuación, se muestran los viajes realizados, así como el kilometraje total recorrido en 1990, en los meses de mayor actividad.

MES	KILOMETRAJE	VIAJES
FEBRERO	14 067	76
ABRIL	18 539	205
MAYO	15 504	177
JUNIO	16 410	197
AGOSTO	26 697	320
TOTAL	91 217	975

PROMEDIO: 93,5 Km/VIAJE

El número total de viajes aproximado, efectuado durante todo el año, se puede calcular de la siguiente manera:

$$975 * 12 / 5 = 2340 \text{ viajes/año}$$

$$91\,217 \text{ Km} * 12 / 5 = 218\,921 \text{ Km/año}$$

El tonelaje total transportado fue de 294208 ton, luego en promedio:

$$294208 \text{ ton} / 2340 \text{ viajes} = 125,7 \text{ ton/viaje}$$

El costo por tonelada fue de C 1267,43/ton. En un viaje promedio que transporta 125,7 ton, el costo es de:

$$1267,43 * 125,7 = \text{C } 159316/\text{viaje}$$

El costo por kilómetro fue entonces:

$$\text{C } 159316/\text{viaje} * 1 \text{ viaje} / 93,5 \text{ Km} = \text{C } 1704/\text{Km}.$$

#### **4.4.3. COSTOS UNITARIOS DEL TRANSPORTE EN CAMIONES RECOLECTORES.**

Los costos de los camiones fueron obtenidos en el IFAM. Estos oscilan entre los C1200 y C1700 la hora de funcionamiento. Para efectuar el cálculo del costo de posesión y operación de un recolector de 10 m<sup>3</sup>, se partió de los siguientes supuestos:

1. Costo de adquisición del recolector: C 3272500
2. Porcentaje de valor residual: 5%.
3. Utilización por año: 1500 horas.
4. Vida útil de la máquina nueva: 8 años(12000horas).
5. Costo de seguros anual: C 60000.

6. Consumo de lubricantes, filtros y grasa según especificaciones de fábrica.
7. Consumo de un juego de llantas y un reencauche por año.
8. Costo de adquisición de filtros según precios de mercado.
9. Salario mensual del chofer y los tres peones: C24062,50 y C12100 (cada uno), respectivamente y 30% de cargas sociales.
10. Valor de reserva para reparaciones de acuerdo a datos estadísticos.

A continuación se resumen los resultados obtenidos basados en las consideraciones anteriores.

#### COSTO DE POSESION.

1. Precio de adquisición menos seguro y valor de rescate(5%) prorrateado entre 12000 horas.....C259,07/hora
  2. Intereses periodo de gracia de adquisición/12000 horas.....C16,36/hora
  3. Intereses vigencia préstamo /12000 horas.....C50,57/hora
  4. Costo de seguro anual entre 1500 horas.....C40,00/hora
- TOTAL DE COSTO DE POSESION DEL RECOLECTOR.....C366,00/hora

#### COSTO DE OPERACION.

1. Combustible.....C294,00/hora
2. Lubricantes, filtros y grasa.....C80,30/hora
3. Neumáticos y reencauches.....C112,00/hora
4. Reserva para reparaciones.....C147,40/hora
5. Elementos especiales de desgaste.....C22,22/hora
6. Salarios.....C482,90/hora
7. Cargas sociales(30% sobre salarios).....C144,87/hora

COSTO TOTAL DE OPERACION DEL RECOLECTOR.....C1283,69/hora

La velocidad media de recolección es de 15 a 20 Km/hora. Usando 16 Km/hora, el costo de posesión y operación es de  $(C1649,69/hora)/(16Km/hora)= C 103,11/Km$ . Si el camión de 10m<sup>3</sup>, transporta 5 ton (500 Kg/m<sup>3</sup>), los costos unitarios por kilómetro y por tonelada, son:

Costo total unitario: C 20,62 / ton-Km.

#### **4.4.4. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS.**

Las alternativas que se analizarán en esta sección son tres: dos de ellas utilizan el ferrocarril como medio de transporte de los desechos. Se hará énfasis en las distancias a que se encuentra el relleno sanitario. En la alternativa 1, el relleno se encuentra más cerca de las estaciones de transferencia. En la alternativa 2 el tren tiene que recorrer una mayor distancia.

En

la alternativa 3, se toma en cuenta el caso de transportar los desechos en los camiones recolectores hasta el sitio de disposición 1.

La ALTERNATIVA 1 consiste en el transporte mediante ferrocarril hasta un lugar ubicado después de Atenas, en un sitio llamado Poncho Mora, a unos 3 Km al oeste de Balsa, como lo muestra el mapa #3. Esta alternativa, al igual que la siguiente, contempla la construcción de dos estaciones de transferencia a las que se transportará la basura mediante camiones recolectores. La línea pasa a un lado del área propuesta para disposición. La distancia a que se encuentra desde el centro de San José, es de 45 Km.

La ALTERNATIVA 2, consiste en el transporte por ferrocarril, hasta un sitio a mayor distancia que el primero. El lugar escogido se encuentra a unos 2,5 Km de Caldera, en el Sitio Millales como se muestra en el mapa #4. En estudio con fotografía aérea, se observó que el

área es utilizada para pastizales. Está rodeado por algunos cerros pequeños, de donde se puede extraer el material de recubrimiento. El sitio se encuentra aproximadamente a un kilómetro de la vía férrea. La distancia a que se encuentra desde el centro de San José, es de 96 Km.

En la ALTERNATIVA 3, no se construyen estaciones de transferencia ni se utiliza el ferrocarril. Consiste en el acarreo directo de los desechos por parte de los camions recolectores hasta el sitio de disposición final 1.

MAPA # 3  
SITIO DE DISPOSICION # 1



SITIO 1: APROX. 100 Ha.  
x: SITIO ADJUNTO PARA EXPANSION FUTURA.



#### **4.4.5. ANALISIS DE ALTERNATIVAS.**

Según los cálculos, el tonelaje de basura producido en los 26 cantones diariamente fue de 1154 ton/día en 1990. Con la cobertura del sistema de recolección de 80%, el tonelaje a transportar sería de unas 923 ton. Si se usaran las máquinas de 360 ton, habría que efectuar  $923/360 = 2,6 = 3$  viajes diarios hasta el sitio de disposición. Gracias a esta gran capacidad por viaje, el incremento de viajes no sería muy grande con el paso de los años y el consiguiente aumento en los volúmenes de basura. Para el 2000, la producción de basura sería de 1500 toneladas, y se requerirían unos 4 viajes diarios hasta el sitio del relleno. Los carros de volteo se pueden utilizar en su capacidad total de 30 ton, por lo que con una máquina de 360 ton, se requerirían unos 12 carros.

##### **4.4.5.1.ALTERNATIVA 1.**

Si se efectuaran los 3 viajes diarios que se requieren, cada uno llevaría en promedio  $923/3 = 308$  ton. Se había calculado anteriormente un costo promedio de C1704/Km para una carga promedio de 125,7 ton/viaje. Asumiendo que este costo es directamente proporcional al tonelaje transportado, el costo de transportar 308 toneladas en un viaje sería:

$$1704/125,7 = x/308, \text{ luego } x = C 4175,27/\text{Km}.$$

Este es el costo unitario de transporte para las alternativas 1 y 2 con la máquina de 360 ton. Los costos totales de transporte en ferrocarril por viaje ida y vuelta serían:

$$\text{ALTERNATIVA 1: } 4175,27 * 45,0 * 2 = C375774,3$$

$$\text{El costo unitario por tonelada y por km sería: } 4175,27/308 = C 13,55/\text{ton-Km}.$$

Sin dejar de lado la posibilidad de utilizar las máquinas de 180 ton, se calculará el costo unitario por kilómetro correspondiente:  $1704/125,7=x/180$ , luego  $x= C2440,10/Km$ .

El costo unitario de transporte mediante ferrocarril, por kilómetro y por tonelada sería el mismo:  $(C2440,10/Km)/180= C13,55/Ton-Km$ .

Hay que agregar que además del costo de transporte mediante ferrocarril, esta opción tiene los siguientes costos:

- Costo del tiempo improductivo de los vehículos ferroviarios de transferencia.
- Costo de las estaciones de transferencia.
- Costo de transporte en camiones recolectores desde cada ciudad hasta su respectiva estación de transferencia.

Se calcularán a continuación estos tres costos. Algunos datos son tomados de la estación de transferencia operada por la Compañía de Limpieza Urbana (COMLURB) de Río de Janeiro, Brasil(REF.#5).

A) Costo del tiempo improductivo de los vehículos de transferencia:  $C_i$ .

El tiempo improductivo es el tiempo gastado en llenar el vehículo de transferencia y nivelar su carga (TC) y el tiempo gastado en descargar la basura en el relleno sanitario (TD).

Para vehículos abiertos rodoviarios se tiene: TC= 25 minutos y TD= 5 minutos. Tiempo improductivo total: 30 minutos. Se asumirá este tiempo para cada carro de volteo, puesto que también son abiertos.

**COSTO DEL TIEMPO IMPRODUCTIVO POR TONELADA:**

$C_i = \text{tiempo improductivo} * \text{costo fijo por minuto/capacidad del vehículo en ton.}$

El costo fijo, es de un 73,94 % de los costos totales, y se calculará sobre el costo correspondiente al equipo rodante, que se muestra en el cuadro #4.14. Este costo del equipo rodante representó el 20,9 % de los costos totales del ferrocarril en 1990. El costo total fue de C 4175,27/Km.

El costo fijo del equipo rodante es:

$$C 4175,27/\text{Km} * 20,9\% * 73,94\% = C 645,22/\text{Km}.$$

Asumiendo una velocidad media de 30 Km/hora del tren:

$$\text{Costo Fijo: } C645/\text{Km} * 30 \text{ Km/hora} = C19350/\text{hora} = C322,5/\text{min}.$$

Si cada tren, con máquinas de 360 ton, lleva 12 vagones, y se cargan dos vagones al mismo tiempo en la estación de transferencia:

$$C_i = (30 \text{ min} * (12/2) * C322,5/\text{min}) / 360\text{ton} = C161,25/\text{ton}.$$

B) Costo de operación de las estaciones de transferencia :Ce.

a) Criterios:

- Capacidad: 1500 ton /día conjuntamente estaciones 1 y 2.
- Turno de 8 horas al día.
- Tasa de interés del 1% al mes.
- Valor residual: 0.
- Vida útil: 20 años.
- Costo de la estación: \$3 millones (La estación de Río de Janeiro costó \$1 millón y tiene una capacidad de 500 ton /día).
- Costo de operación: \$20000/mes. (La estación de Río cuesta \$10000/mes).
- Cambio oficial en julio de 1991: C 120 por dólar.

b) Costo del capital: Ce1.

Ce1=costo de la estación\* tasa de interés/días de trabajo

$$\text{Ce1} = (\$ 3000000 * C120/\$) * 0.01/\text{mes} * 12 \text{ meses} / 365 \text{ días} = \\ C 118 356,2/\text{día}.$$

c) Costo de amortización: Ce2.

Ce2= costo de la estación/ vida útil en días.

$$\text{Ce2} = (\$3000000 * C120/\$) / (20 \text{ años} * 365 \text{ días/año}) = C 49 315,1/\text{día}.$$

d) Costo de operación: Ce3.

Ce3= costo mensual/ días de operación por mes.

$$\text{Ce3} = (\$20000 * C120/\$) * 12 \text{ meses} / 365 \text{ días} = C 78 904,1/\text{día}.$$

e) Costo total por tonelada transportada: Ce.

Ce= (Ce1+Ce2+Ce3) / capacidad de estaciones al día.

$$\text{Ce} = (118 356,2 + 49 315,1 + 78 904,1) / 1500 = C164,38/\text{ton}$$

C) Costo de transporte desde los centros productores hasta las estaciones de transferencia.

En el cuadro # 4.15, se muestran las distancias desde los distintos cantones hasta su respectiva estación de transferencia.

El cantón de Atenas lleva su carga directamente hasta el sitio de disposición 1. Se calculó una distancia ponderada, la cual fue 10,3 Km. El costo del transporte directo mediante los camions recolectores es de C20,62/Ton-Km, de tal forma que multiplicando este valor por la distancia ponderada, se obtiene un costo aproximado por tonelada, Ctd:

$$\text{Ctd} = C20,62/\text{Ton-Km} * 10,3 \text{ Km} = C 212,4/\text{Ton}.$$

$$\text{Ci} + \text{Ce} + \text{Ctd} = C 538,03/\text{Ton}.$$

D) Costo total de alternativa 1.

El costo total de la alternativa 1, está compuesto por el costo de transporte en ferrocarril: C13,55/Ton-Km, más el costo del tiempo improductivo Ci, más el costo de la estación de transferencia:Ce, más el costo del transporte en camiones desde las ciudades hasta su respectiva estación de transferencia: Ctd:

$$CT = 13,55 * D + Ci + Ce + Ctd = 13,55 * D + 538,03.$$

$$CT = 13,55 * (45 * 2) + 538,03 = C 1757,53/ton.$$

CUADRO # 4.15			
DISTANCIA DESDE CADA CANTON HASTA SU ESTACION DE TRANSFERENCIA			
CANTON	DIST(Km):D	TONELAJE:T	T * D
SAN JOSE	6,0	368,4	2210
ESCAZU	3,5	56,1	196
DESAMPARADOS	11,0	194,4	2138
ASERRI	12,5	55,3	691
GOICOECHEA	10,0	134,1	1341
ALAJUELITA	6,0	52,6	316
CORONADO	18,0	43,3	779
TIBAS	10,0	109,4	1094
MORAVIA	13,0	63,3	827
MONTES DE OCA	9,0	59,9	539
CURRIDABAT	12,0	67,1	805
LA UNION	17,0	81,7	1389
HEREDIA	17,0	102,2	1737
BARVA	19,0	34,6	657
STO DOMINGO	15,0	41,5	623
SAN RAFAEL	19,0	40,6	771
SAN ISIDRO	20,5	15,4	316
SAN PABLO	17,0	23,0	391
MORA	15,0	19,3	290
SANTA ANA	8,0	33,2	266
ALAJUELA	6,0	209,0	1254
ATENAS (Directo)	6,0	24,4	146
POAS	17,0	24,0	408
SANTA BARBARA	13,0	31,5	410
BELEN	5,0	21,1	106
FLORES	11,0	15,8	174
TOTALES	----	1921,5	19874
DISTANCIA PROMEDIO PONDERADA: $19874/1921,5 = 10,3$ Km.			

Donde: CT es el costo total en colones/ton, y D es la distancia ida y vuelta hasta el sitio de relleno sanitario en Km.

Si se movilizan las 923 toneladas, los costos totales serían:

$$CT = 1757,53 * 923 = C1\ 622\ 200/\text{día}.$$

#### **4.4.5.2. ALTERNATIVA 2.**

El costo de transporte de un viaje ida y vuelta por ferrocarril hasta el sitio 2 es:

$$\text{ALTERNATIVA 2: } 4175,27 * 96,0 * 2 = C801651,8$$

El costo total de la alternativa 2, incluye también el costo del tiempo improductivo  $C_i$ , el costo de la estación de transferencia:  $C_e$ , y el costo del transporte en camiones desde las ciudades hasta su respectiva estación de transferencia.

$$CT = 13,55 * D + C_i + C_e + C_{td} = 13,55 * D + 538,03.$$

$$CT = 13,55 * (96 * 2) + 538,03 = C\ 3139,63/\text{ton}.$$

Si se movilizan las 923 toneladas, los costos totales serían:

$$CT = 3139,63 * 923 = C2\ 897\ 878/\text{día}.$$

Como vemos, el costo total de la alternativa 2, es mucho mayor al de la alternativa 1, como es de suponer debido a la gran diferencia en las distancias. Con respecto al tiempo de viaje, aunque el equipo rodante esté a la disposición, el estado de las vías influye en las velocidades de conducción.

El deterioro actual de las vías al Pacífico han obligado a los técnicos del INCOFER, a reducir las velocidades en casi todos los tramos hasta Puntarenas. En el siguiente cuadro, se muestran las velocidades y los tiempos de viaje hasta los sitios de las dos alternativas.

CUADRO # 4.16  
VELOCIDADES Y TIEMPOS DE VIAJE.

TRAMO	VEL(KPH)	DIST(KM)	TIEMPO DE VIAJE(HR)
San José-Ojo de Agua	20	18,7	0,935
Ojo de Agua-Km 26	30	7,3	0,243
Km 26-Atenas	30	11,3	0,377
Atenas-Km 45	30	7,7	0,257
TOTAL ALTERNAT 1		45,0	1,812 (1h49min)
Km 45-Escobal	30	4,7	0,157
Escobal-Salinas	40	39,5	0,988
Salinas-Km 96	25	6,8	0,272
TOTAL ALTERNAT 2		96,0	3,228 (3h14min)

#### **4.4.5.3. ALTERNATIVA 3.**

Se calcularán los costos de acarreo directo de la basura hasta el sitio 1. Las distancias desde las distintas ciudades productoras, obviamente son diferentes. En el cuadro #4.17, se muestran estas distancias, las cuales representan las rutas más cortas posibles por carretera, desde el centro del cantón hasta el sitio de disposición. También se muestra el tonelaje a acarrear de cada cantón, y se obtuvo la distancia promedio hasta el sitio, ponderando los valores con los tonelajes correspondientes. Esta distancia promedio (DP) es 48,9 Km, muy similar a los 45 Km que recorre el ferrocarril. Como tenemos el costo unitario de C 20,62/ton-Km, se multiplica por la distancia doble (ida y vuelta) y por el tonelaje diario de cada

cantón. La sumatoria de estos costos es el costo total diario que representaría el acarreo directo en los camiones recolectores.

CUADRO # 4.17  
DISTANCIAS REALES Y COSTOS DE TRANSPORTE EN CAMIONES AL SITIO 1

CANTON	TONELAJE (1990, 80 % cobertura)	DISTANCIA (Km)	TONELAJE X DISTANCIA	COSTO (COLONES) C 20,62/ton-Km
San José	177,1	52	9209,2	379 787
Escazú	26,9	46	1237,4	51 030
Desamparados	93,4	56	5230,4	215 702
Aserrí	26,6	61	1622,6	66 916
Mora	9,3	48	446,4	18 410
Goicoechea	64,4	57	3670,8	151 384
Santa Ana	15,9	40	636,0	26 229
Alajuelita	25,3	55	1391,5	57 385
Coronado	20,8	63	1310,4	54 041
Tibás	52,6	55	2893,0	119 307
Moravia	30,6	58	1774,8	73 193
Montes de Oca	28,7	55	1578,5	65 097
Curridabat	32,2	58	1867,6	77 020
Alajuela	100,5	29	2914,5	120 194
Atenas	11,7	6	70,2	2 895
Poás	11,5	34	391,0	16 125
La Unión	39,3	63	2475,9	102 106
Heredia	49,1	41	2013,1	83 020
Barva	16,6	41	680,6	28 068
Santo Domingo	19,9	44	875,6	36 110
Santa Bárbara	15,1	36	543,6	22 418
San Rafael	19,5	43	838,5	34 580
San Isidro	7,4	48	355,2	14 648
Belén	10,2	35	357,0	14 723
Flores	7,5	37	277,5	11 444
San Pablo	11,0	43	473,0	19 507
TOTALES:	923,1	-	45134,3	C 1 861 339/día
DISTANCIA PROMEDIO PONDERADA: $45134,3/923,1 = 48,9$ Km				

COSTO DE ACARREO DIRECTO: CT

CT= Costo unitario \* (distancia\*2\* tonelaje)

CT=C 20,62/ton-Km \* 45134,3 ton-Km \*2= C 930669,3\*2= C 1861338,6

COSTO ACARREO DIRECTO = C 1 861 339/día (utilizando las distancias reales).

En el análisis de alternativas se debe tomar en cuenta también el costo de la flota de camiones recolectores. El número de camiones que se requerirá en la alternativa 3 de acarreo directo, será mayor que en las alternativas 1 y 2 de transporte mediante ferrocarril. A continuación se calculará la cantidad de camiones que se requiere en cada caso. Para esto se tomará en cuenta una serie de factores, que se detallan a continuación.

-Cálculo de las flotas de camiones recolectores para cada alternativa.

El ciclo que tiene cada camión recolector se compone de los siguientes tiempos:

- Tiempo de recolección en cada ciudad: TR.
- Tiempo de ida y regreso a la estación de transferencia o al relleno sanitario:  $2*L/V$ , donde L es la distancia hasta el relleno o la estación de transferencia, y V es la velocidad media de transporte.
- TD: Tiempo de descarga en el relleno sanitario o en la estación de transferencia.

Por lo tanto, un ciclo completo de cada camión recolector es:  $C= 2*L/V + TR + TD$ .

El número total de viajes que realiza cada camión hacia el relleno sanitario o hacia la estación de transferencia es:  $N= P/ C$ , donde P es el tiempo de trabajo total de cada camión recolector en un día, y C es el ciclo ida y regreso.

El número de viajes total de cada ciudad es  $V = T/Cap$ , donde  $T$  es el tonelaje producido en la ciudad al día, y  $Cap$  es la capacidad de cada camión recolector. El número total de vehículos (flota) que requiere cada ciudad es entonces:  $F = V/N$ .

Según datos del IFAM, un camión recolector de 5 ton, tarda unas 3 horas en llenarse. Se asumirá entonces que los tiempos de recolección y descarga suman 3 horas:  $TR + TD = 3$  horas.

La velocidad media de transporte de los recolectores, se asumió 40 Km/hora. La ecuación del ciclo queda:

$$C = 2 * L / 40 + 3.$$

Las horas de trabajo diarias de cada camión recolector son 6,5 y la capacidad de los recolectores: 5 Ton, por lo tanto:

$$N = 6,5 / C \quad V = T / 5.$$

En los cuadros #4.18 y #4.19, se resumen estos cálculos, para las alternativas de transporte directo y mediante ferrocarril, respectivamente. Se muestra en la última columna la flota que requiere cada ciudad. Se observa de dichos cuadros que el número de camiones que se requiere para la opción 3, es de 190 y para las opciones 1 y 2, 103. La diferencia de 87 camiones representa un costo diferencial a favor de la opción de transporte mediante ferrocarril. Se calculará entonces este costo adicional que tiene la alternativa 3.

CUADRO # 4.18  
CALCULO DE LA FLOTA PARA LA ALTERNATIVA 3.

CANTON	TON(1990) T	DISTANCIA (Km) L1	CICLO (Hr)C	VIAJES/ VEHIC: N	TOTAL DE VIAJES:V	FLOTA F=V/N
San José	177,1	52	5,6	1	36	36
Escazú	26,9	46	5,3	1	6	6
Desamparados	93,4	56	5,8	1	19	19
Aserrí	26,6	61	6,1	1	6	6
Mora	9,3	48	5,4	1	2	2
Goicoechea	64,4	57	5,9	1	13	13
Santa Ana	15,9	40	5,0	1	4	4
Alajuelita	25,3	55	5,8	1	5	5
Coronado	20,8	63	6,2	1	4	4
Tibás	52,6	55	5,8	1	11	11
Moravia	30,6	58	5,9	1	6	6
Montes de Oca	28,7	55	5,8	1	6	6
Curridabat	32,2	58	5,9	1	7	7
Alajuela	100,5	29	4,5	1	20	20
Atenas	11,7	6	3,3	2	2	1
Poás	11,5	34	4,7	1	3	3
La Unión	39,3	63	6,2	1	8	8
Heredia	49,1	41	5,1	1	10	10
Barva	16,6	41	3,8	1	3	3
Santo Domingo	19,9	44	5,2	1	4	4
Santa Bárbara	15,1	36	4,8	1	3	3
San Rafael	19,5	43	5,2	1	4	4
San Isidro	7,4	48	5,4	1	2	2
Belén	10,2	35	4,8	1	2	2
Flores	7,5	37	4,9	1	2	2
San Pablo	11,0	43	5,2	1	3	3
TOTALES:	923,1	-	140,9			190

CUADRO # 4.19  
CALCULO DE LA FLOTA PARA LAS ALTERNATIVAS 1 y 2.

CANTON	TON(1990) T	DISTANCIA (Km) L1	CICLO (Hr)C	VIAJES/ VEHIC: N	TOTAL DE VIAJES:V	FLOTA F=V/N
San José	177,1	6,0	3,3	2	36	18
Escazú	26,9	3,5	3,2	2	6	3
Desamparados	93,4	11,0	3,6	2	19	10
Aserri	26,6	12,5	3,6	2	6	3
Mora	9,3	15,0*	3,8	2	2	1
Goicoechea	64,4	10,0	3,5	2	13	7
Santa Ana	15,9	8,0*	3,4	2	4	2
Alajuelita	25,3	6,0	3,3	2	5	3
Coronado	20,8	18,0	3,9	2	5	3
Tibás	52,6	10,0	3,5	2	11	6
Moravia	30,6	13,0	3,7	2	7	4
Montes de Oca	28,7	9,0	3,5	2	6	3
Curridabat	32,2	12,0	3,6	2	7	4
Alajuela	100,5	6,0*	3,3	2	20	10
Atenas	11,7	6,0	3,3	2	3	2
Poás	11,5	17,0*	3,9	2	3	2
La Unión	39,3	17,0	3,9	2	8	4
Heredia	49,1	17,0	3,9	2	10	5
Barva	16,6	19,0	4,0	2	4	2
Santo Domingo	19,9	15,0	3,8	2	4	2
Santa Bárbara	15,1	13,0*	3,7	2	3	2
San Rafael	19,5	19,0	4,0	2	4	2
San Isidro	7,4	20,5	4,0	2	2	1
Belén	10,2	5,0*	3,3	2	2	1
Flores	7,5	11,0*	3,6	2	2	1
San Pablo	11,0	17,0	3,9	2	3	2
TOTALES:	923,1					103
* Tributan en la estación 2, el resto en la 1.						

El costo de un camión recolector de 5 toneladas es 3,3 millones de colones, con un valor porcentual de salvamento de 5%. La vida útil es de 8 años, y la tasa de interés del 1% mensual.

Amortización=  $(C3300000-3300000*5\%)/8*365$  días= C 1073,6 /día.

Costo de capital=  $(C3300000 * 0.01) *12 /365$  días= C1084,9/día.

Costo total= C 2158,5/día.

El costo por tonelada de los 87 recolectores, sería CFlota:

CFlota=  $(87* C 2158,5 /día) / (923\text{ton}/día)$ = C203,46/ton.

- Costo total.

El costo total de la alternativa 3 está conformado por el costo de transporte en camiones recolectores: C 20,62/Ton-Km, y el costo diferencial de la flota de camiones: C203,46/ton.

$$CT = 20,62 * D + 203,46$$

donde D es la distancia ida y vuelta hasta el sitio de relleno en Km, y CT es el costo total en colones por tonelada.

$$CT = 20,62 *(45*2) + 203,46= C 2059,26/\text{ton}.$$

Si se movilizan las 923 toneladas, los costos totales serían:

$$CT = 2059,26 *923= C1 900 697/día.$$

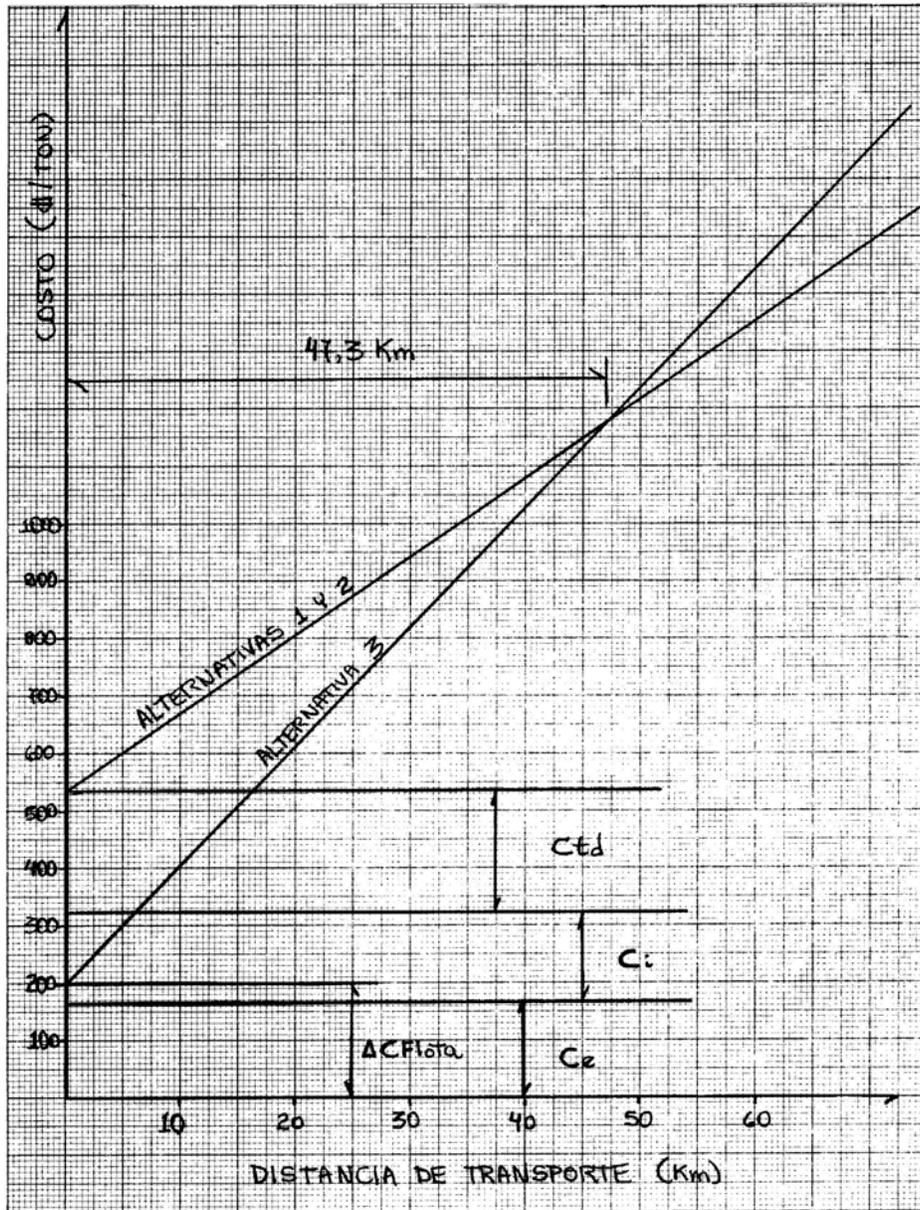
#### **4.4.5.4. COMPARACION DE ALTERNATIVAS.**

La comparación debe hacerse entre las alternativas de utilizar estaciones de transferencia o los camiones recolectores para el acarreo directo.

#### Gráfico de costos-distancia.

La comparación entre los costos de las tres alternativas se muestra en la figura #4.4 del gráfico de costo por tonelada versus distancia de transporte. Los costos unitarios del acarreo directo y por ferrocarril de  $C_{20,62}/\text{ton-km}$  y  $C_{13,55}/\text{ton-km}$  respectivamente, representan las pendientes de las rectas en el gráfico. El costo de la estación de transferencia más el tiempo improductivo, más el costo de transporte en camiones desde las ciudades hasta las estaciones de transferencia, representa la intersección con el eje vertical:  $C_e + C_i + C_{td} = C_{164,38}/\text{ton} + C_{161,25}/\text{ton} + C_{212,4}/\text{ton} = C_{538,03}/\text{ton}$ , en las alternativas 1 y 2. En la alternativa 3, el costo diferencial de la flota de camiones recolectores, también representa la intersección con el eje vertical:  $C_{Flota} = C_{203,46}/\text{ton}$ .

FIGURA 4.4  
 GRAFICO DISTANCIA VS. COSTO DE TRANSPORTE  
 PARA EL ANALISIS DE ALTERNATIVAS



ACARREO DIRECTO:  $C = 20,62 * D + 203,46$ .

FERROCARRIL:  $C = 13,55 * D + 538,03$ .

Donde D=Distancia ida y vuelta al relleno en km, C=Costo en C/Ton

Estas rectas se intersectan en un punto, el cual representa la distancia a la que el transporte por medio de los camions recolectores dejaría de ser económico. Después de esta distancia, las estaciones de transferencia y el uso del ferrocarril pasaría a ser más ventajoso.

COMBINANDO AMBAS ECUACIONES:  $D = 47,32$  Km.

Como vemos, el transporte mediante ferrocarril sería rentable después de los 47,32 Km. El sitio de disposición 1 se encuentra a 45 Km, por lo que la alternativa de transporte mediante ferrocarril (alternativa 1) es más económica. Debe notarse que en el análisis, la alternativa 3 es un poco más cara que la 1, debido a que la distancia promedio de acarreo fue de 48,90 Km, que es mayor que la de 47,32 y obviamente a la de 45 Km para el ferrocarril.

#### **4.4.6. CONCLUSIONES ACERCA DE LAS CONSIDERACIONES ECONOMICAS.**

El tiempo de viaje hasta el sitio 1 es casi la mitad que el tiempo hasta el sitio 2. Se podrían hacer tres viajes ida y vuelta hasta el sitio 1, en unas 11 horas. Hasta el sitio 2, no se podrían realizar los tres viajes puesto que requeriría unas 20 horas. Se tendrían que mandar dos trenes al mismo tiempo.

La alternativa 1 es más aceptable económicamente que la 2. Los costos totales de transporte hasta el sitio 2 son un 113% mayores que los costos hasta el sitio 1. En este análisis de costos de transporte, la distancia hasta el relleno sanitario fue el factor que determinó la opción más favorable. Los tiempos de viaje determinan la distancia mayor a la que se podría enviar la basura en tren. Si suponemos que el tren funcionará 12 horas al día en el acarreo de la

basura (tres viajes diarios), con una velocidad media de 30 Km/hora, la distancia mayor a la que podría estar ubicado el relleno sería:

$$30 \text{ Km/hora} * 12 \text{ horas} / 3 * 2 = 60 \text{ Km.}$$

El cálculo de la distancia promedio ponderada que deben recorrer los camiones recolectores en el análisis de la alternativa 3, es sumamente importante. La similitud entre esta distancia DP=48,9 Km por carretera y los 45 Km que recorre el ferrocarril, es la que prácticamente nos permite realizar la comparación entre los dos medios de transporte. Si DP hubiera sido 60 o 30 Km, la comparación entre los medios no se hubiera podido hacer en términos de costos unitarios mediante el gráfico de costos-distancia, para efectos del cual se despreció esa diferencia. Si DP hubiera sido 30 Km, por ejemplo, los camiones tendrían que recorrer en promedio esa distancia para llegar hasta el relleno, mientras que el ferrocarril tendría que recorrer los mismos 45 Km. Por lo tanto, el punto de intersección de las rectas no hubiera podido representar la distancia crítica. Para el análisis se utilizó entonces una distancia ponderada de DP=45 Km. Se entiende que aunque el relleno está a 45 Km para el ferrocarril, no lo está para la opción de acarreo directo. Los costos totales para ambas opciones son los siguientes:

ACARREO DIRECTO:  $CT = 2059,26 * 923 = C1\ 900\ 697/\text{día.}$

FERROCARRIL :  $CT = 1757,53 * 923 = C1\ 622\ 200/\text{día.}$

Esto representa un ahorro de casi 300 mil colones diarios, el cual ya es de interés. De acuerdo al análisis que se ha hecho, se podría decir que el rango al que se puede ubicar el relleno sanitario para hacer factible el transporte en ferrocarril, es de 45 a 60 Km. Si se logran construir estaciones de transferencia menos costosas, la distancia crítica a la cual el transporte por ferrocarril es más rentable que el acarreo directo, sería menor que la calculada.

Una de las suposiciones importantes que se hizo fue que cada ciudad realizaba la recolección de sus desechos sólidos dos veces por semana. Debería seguirse un mecanismo de recolección, dentro de un enfoque regional, en donde las municipalidades coordinaran para establecer un calendario, en el cual se establecieran los días a la semana en que cada una deba

realizar el servicio. Si se recolectara de lunes a sábado, a cada ciudad le correspondería prestar su servicio dos días a la semana, con un tercio de la carga total. Este sistema conformado por las rutas de recolección de todas las ciudades, debe optimizarse con el fin de minimizar los costos. En caso de que se continuara con el sistema de trabajo de cinco días, se haría un uso menos eficiente de la capacidad instalada, pero no se tendrían los costos de operación mayores en lo relativo a salarios si hubiera que pagar el tiempo compensatorio para el día sábado. En el cuadro #4.20, se resume el análisis de las alternativas.

CUADRO # 4. 20 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE.			
ALTERNATIVA	1 Ferrocarril	2 Ferrocarril	3 Camiones
SITIO	Poncho Mora, Atenas.	Sitio Millales, cerca de Caldera.	Poncho Mora.
DISTANCIA	45 Km	96 km	45 Km
COSTO UNITARIO	¢ 13,55/ton-km	¢13,55/ton-km	¢20,62/ton-km
COSTO ESTACION TRANSFERENCIA	¢ 164,38/ton	¢164,38/ton	0
COSTO TIEMPO IMPRODUCTIVO	¢161,25/ton	¢ 161,25/ton	0
TAMAÑO DE FLOTA	103	103	190
COSTO DIFERENCIA DE FLOTA	-----	-----	¢ 203,46/Ton
COSTO DESDE CIUDADES HASTA ESTACIONES EN CAMIONES	¢ 212,4/Ton	¢ 212,4/Ton	-----
COSTO TOTAL/día	¢ 1 622 200	¢ 2 897 878	¢ 1 900 967
OPCION DE TRANSPORTE	Máquinas de 360,180 ton.	Máquinas de 360,180 ton.	Camiones de hasta 5 ton.
TONELAJE A TRANSPORTAR	923 ton en los próximos 3 años, 1500 ton en el 2000		
TIEMPO DE VIAJE IDA Y REGRESO	3 horas y 40 minutos	6 horas y media	-----
DISTANCIA A LA QUE ES MAS ECONOMICA	Más de 47,3 Km		Menos de 47,3 Km
ACCESO	-----	Construir 1 km de vía.	-----
COBERTURA DE RECOLECCION SUPUESTA	80 %		
OTROS SUPUESTOS	1. No hay un porcentaje de materiales recuperados ni reciclaje. 2. El promedio de producción per cápita es 0,8 kg/día y 1 kg/día para el 2000.		

#### **4.4.7. BENEFICIOS POTENCIALES PARA EL INCOFER.**

El beneficio que obtendría INCOFER con esta actividad, está relacionado directamente con la capacidad ociosa que en este momento tiene la Institución. Los viajes que realiza para transporte de mercancía son en el sentido Pacífico-San José, con excepción del transporte para exportación y otros fletes menores. Por esta razón, el modo de operar es enviar trenes de carros vacíos para que recojan la carga y la transporten de regreso a la capital. En esos viajes sin carga, no se aprovecha la capacidad de los trenes, por lo que los costos no están siendo bien repartidos. El transporte de la basura sería la actividad principal, en la que se ocuparían las máquinas de mayor capacidad. Para el transporte de mercancías se pueden utilizar las máquinas de menor potencia, que viajen hasta el Pacífico, para cubrir esta pequeña demanda existente.

Los costos fijos de la Institución representan el 74 % de los costos totales. El déficit que vive hoy se debe precisamente a ser una estructura fija con esa gran proporción de costos, y sin suficiente demanda de transporte. Con el transporte de desechos sólidos se estarían diluyendo esos costos y ocupando la capacidad ya instalada.

El INCOFER cobraría los costos incurridos en el transporte a las municipalidades, con un margen de utilidad. Una inversión que tendría que hacer la Institución, sería la construcción del tramo de la vía férrea que accesa al relleno sanitario, pero este costo podría asumirlo, si hay estímulos por los beneficios obtenidos. Esta rentabilidad o margen de utilidad debe acordarse entre el INCOFER y las municipalidades mediante un Convenio.

Por su parte, las municipalidades deben establecer un sistema de tarifas adecuado, de tal manera que se cubran los costos de recolección, transporte y tratamiento de la basura. Los costos deben trasladarse a la población generadora de desechos. La tarifa que se cobre al usuario, debe ser tal que cubra al menos el total de los costos del manejo de desechos. Cabe mencionar, que en la actualidad, en todas las municipalidades del país no existe un sistema tarifario adecuado para el servicio de recolección. Según un estudio realizado por el

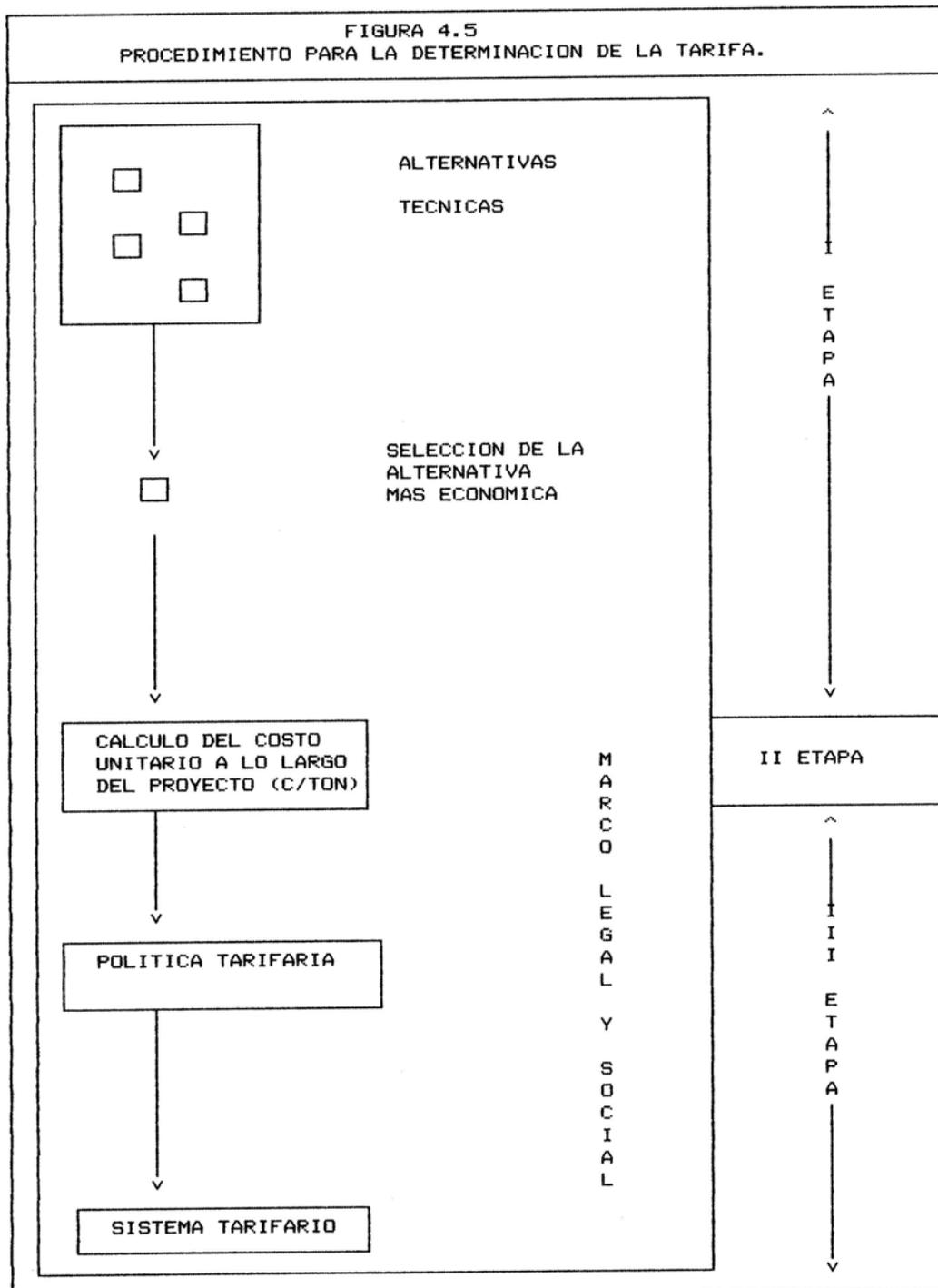
Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM), el sistema que aplicaba casi el 60 % de las municipalidades en 1986, consistía en enumerar las unidades de ocupación, de acuerdo a su uso, sin hacer consideraciones de cantidades generadas. Las tasas que se cobran, varían en cada municipio. En la Municipalidad de La Unión se cobran C 29,15 trimestrales a las residencias, mientras que la tasa mayor es apenas C 201,40 trimestrales en el cantón de Limón. La tasa mayor para las industrias la tiene el cantón de Corredores, con C 6644,50 trimestrales. Este estudio informa también que estas tasas no están costeadando el servicio, y que más del 80 % de los municipios del país, tenían presentada ante el IFAM, la solicitud formal de recalcular dichos montos.

La secuencia en la determinación de la tarifa se resume en la figura #4.5. En la etapa I, se selecciona la mejor alternativa, desde el punto de vista económico y técnico. En la etapa II, se calcula el costo unitario a lo largo del proyecto. Este costo unitario (colones/ton), no es la tarifa propiamente dicha, sino la base para determinar el sistema tarifario. Para su determinación se necesita una política tarifaria. Los tres componentes más importantes de una política tarifaria, y que deben examinarse cuidadosamente uno por uno, prestando

debida atención al marco legal y social correspondiente, son:

- 1) La determinación del porcentaje del costo que puede y debe recuperarse a través del sistema tarifario; y del porcentaje del costo que se recuperará a través del subsidio.
- 2) La determinación de las características que debe tener la estructura tarifaria: aspectos de redistribución de ingresos, etc.
- 3) La determinación de los factores que son más oportunos como base de cálculo tarifario: Número de habitantes, categoría de zona, áreas construidas, número y tamaño de los recipientes, frecuencia de recolección, consumo de luz eléctrica, etc.

FIGURA 4.5  
PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE LA TARIFA.



FUENTE: REF#33.

#### 4.5. JUSTIFICACION AMBIENTAL DE LA PROPUESTA.

El proyecto se justificaría en muchos aspectos desde el punto de vista ambiental:

A) Se estaría evitando el uso de tierras de gran valor económico, que se encuentran por lo general cerca de los grandes centros de población.

B) Se estaría evitando el uso de las cuencas altas, para la disposición de desechos sólidos, puesto que por lo general, en esas zonas se tiene la presencia de áreas de recarga de acuíferos importantes.

C) Se estaría facilitando la ubicación de sitios para relleno sanitario fuera de la Gran Area Metropolitana, que hoy en día alberga o da trabajo a poco más del 50% de la población total del país, en donde se encuentran más del 70 % de las actividades industriales del país y que representa tan solo el 3,8% del territorio nacional. Por estas razones, entre muchas otras, la dificultad de encontrar un sitio para relleno sanitario en la GAM es cada vez mayor.

D) La solución contempla un rendimiento de 80% en la cobertura de recolección de todos los cantones que tributarían. En la actualidad, este nivel es difícilmente alcanzado por muchos cantones de la GAM, si se comparan los datos de la producción calculada con base en índices de producción, y los volúmenes recolectados. Con esta cobertura, se estaría reduciendo en alguna proporción el grave problema que hoy representa el lanzamiento de las basuras a los ríos.

E) Mediante el establecimiento del sistema propuesto, se estaría asegurando el tratamiento de los desechos mediante un verdadero relleno sanitario controlado. Las municipalidades no tendrían que continuar con sus prácticas inapropiadas de disposición de basuras, como: botaderos a cielo abierto, zanjas excavadas con quema de basura, vertido a ríos, etc.

F) Las estaciones de transferencia, si son bien operadas, no representan un problema ambiental. Los controles de contaminación evitan molestias por olores, polvaredas y ruidos. Si se lavan todos los días los sitios donde se acumula la basura se pueden mitigar los olores; y haciendo una aspersión de agua en los sitios donde se origina el polvo, se evita este otro impacto en el ambiente.

G) La cantidad de terreno que ocupan las estaciones de transferencia, no es difícil de obtener en sitios aledaños a la ciudad. No es un sitio de disposición final, por lo que no se tendrá problemas por producción de lixiviados, contaminación de mantos acuíferos, y sobretodo se eliminaría el mal social de los "buzos" o "pepenadores" que hurgan entre la basura, arriesgando su salud.

H) En la propia estación de transferencia, se pueden implementar técnicas de recuperación de materiales para su reciclaje. Se pueden recuperar papeles, vidrio, metales y plástico. Cada tonelada de material reciclado en la estación, es una tonelada menos a transportar hasta el relleno. Este es un "costo evitado": en el tanto en que las tarifas de disposición suben, en esa misma cantidad aumentan las ganancias derivadas de la recuperación de materiales.

## 5 CONCLUSIONES

### 5.1. CONCLUSIONES.

A) De las investigaciones realizadas, se concluye que en nuestro país no existe una metodología determinada para la búsqueda de sitios para situar un relleno sanitario. Lo que se ha hecho algunas veces es lo siguiente: ubicar un sitio probable con total desconocimiento previo de las condiciones existentes. Posteriormente alguna institución, como el SENARA realiza algunos estudios hidrogeológicos. No se efectúa el análisis a nivel regional y luego a nivel local como sugieren los pasos del capítulo 3.

B) El manejo de los desechos sólidos no se concibe como el conjunto de actividades que lo conforman. No se relaciona en nuestro país la recolección, con el transporte, el reciclaje o el tratamiento.

C) No hay un conocimiento claro de los conceptos en este campo, por ejemplo quienes se encargan del manejo de los desechos no distinguen entre el relleno sanitario y otros tipos de disposición menos adecuados.

D) Se debe realizar un trabajo interdisciplinario para la solución del problema de los desechos sólidos. En particular, la ubicación de sitios para relleno requiere la participación de muchos técnicos.

E) La utilización del ferrocarril al Pacífico para transporte de desechos es técnicamente posible. Las condiciones de la basura que se genera en Costa Rica, con densidades mucho más altas (500 Kg/m<sup>3</sup>) que en los países industrializados, permite su transporte sin necesidad de una compactación adicional. De acuerdo a la experiencia internacional, el equipo que se utiliza en estas condiciones es menos sofisticado. En el caso nuestro es posible el uso de los carros de

volteo que emplea el ferrocarril para el transporte de arena, previa modificación (aumento) de su capacidad volumétrica.

F) El Instituto Costarricense de Ferrocarriles, con este tipo de servicio extra, obtendría beneficios económicos, puesto que posee toda una estructura fija instalada, y cuenta con una capacidad ociosa importante. Por esto, el incremento en el costo total de sus actividades, debido al aumento de carga transportada que tendría con la basura, sería casi nulo. Se estaría cubriendo un faltante en la demanda de transporte y los costos que actualmente posee, se diluirían.

G) Las ventajas que representa instalar estaciones de transferencia son más numerosas que sus desventajas. Estos centros de acopio de basura, además de resolver muchos problemas ambientales que se viven en Costa Rica debido a los botaderos, pueden impulsar el reciclaje a nivel nacional en una escala mayor a la actual. Pueden seguir siendo utilizadas, independientemente del tipo de vehículo de transporte. Si no se pudieran ubicar más sitios para rellenos sanitarios cerca de la vía férrea, esto no implicaría que las estaciones tengan que dejar de funcionar. Se puede utilizar, por ejemplo un sistema rodoviario con camiones transportadores de gran tonelaje, que lleven la basura a otros sitios que el ferrocarril no pueda acceder.

H) El buen desarrollo del sistema propuesto, implica o requiere necesariamente el compromiso de crear sitios de disposición que cumplan con todos los requisitos de un relleno sanitario.

I) El sistema propuesto se justifica desde el punto de vista ambiental, sobre todo en la medida en que procura evitar la disposición de la basura a los cursos de agua.

## **5.2. RECOMENDACIONES.**

A) La recomendación más importante es darle seguimiento a este estudio, investigando a nivel de detalle esta propuesta a fin de afinar costos, ubicar exactamente el sitio

para relleno sanitario, y definir la ubicación y características de las estaciones de transferencia.

B) Se deben impulsar campañas de educación ambiental en las que se incluya un apartado de manejo de desechos sólidos. La población debe educarse en el sentido de que debe saber cuál es la naturaleza de los desechos que está produciendo, porque no son concientes del valor de algunos materiales que se desechan. Esto facilitaría proyectos de recuperación de materiales, que a su vez reduciría los volúmenes de basura a transportar y tratar.

C) Las municipalidades del país deben implementar un sistema tarifario, para trasladar el costo total del servicio a los ciudadanos. Un factor que puede servir como base al cálculo tarifario puede ser el consumo de la luz. Podría establecerse un porcentaje sobre este consumo, para costear los servicios de recolección y tratamiento de los desechos. Esto fundamentado en el hecho de que los sectores de la población de mayores ingresos consumen más energía y generan más desechos sólidos. Esta política tarifaria exige también que los municipios adopten sistemas de contabilidad de costos, que permitan realizar los estudios económicos necesarios para el planeamiento de los diversos servicios.

D) Poner en funcionamiento un Consejo Intermunicipal para analizar integral y regionalmente la problemática de los desechos sólidos de la GAM, como parte de un Plan Maestro del sistema urbano. Esta acción es crítica, dados el incremento de la población, de la basura generada per cápita y que Río Azul no representa un opción viable para el futuro.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1) Alegre, Marcos. "Un abono hecho de basura: el compost." En: Medio Ambiente, Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente, Perú, Número 40(1989), pp 20-23.
- 2) Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux (AGHTM). Técnicas de higiene urbana (Recogida y tratamiento de basuras. Limpieza de las vías públicas). Primera edición en español. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local,1977. 701 pp.
- 3) Coasaca, Juan." Recolección no convencional de basuras." En: Medio Ambiente, Perú, Número 39 (1989), pp 44-45.
- 4) Collazos, Héctor. "El futuro próximo de la disposición de los residuos sólidos" En: Primer Simposio Internacional Sobre Residuos Sólidos, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Cúcuta (Colombia), 1980, pp 1-21.
- 5) Costa Leite, Luiz Edmundo da. Aspectos Técnicos del servicio de aseo: Estación de Transferencia. Versión Preliminar. Lima, Programa Regional OPS/EHP/CEPIS de Mejoramiento de los Servicios de Aseo Urbano, 1982. 66 pp.
- 6) Costa Leite, Luiz Edmundo da, et al. "Avaliacao da producao de percolado do lixo e da capacidade filtrante de aterros sanitários." En: Engenharia Sanitaria, Rio de Janeiro (Brasil), V.21-#1;90-99 jan/mar (1982). pp 90-99.
- 7) Chiplunkar, Anand et al. "Optimization of refuse collection systems." En: Journal of Environmental Engineering, USA, Dec. 1981, pp.1203-1210.
- 8) Ehrenfeld, John et al. Evaluation of Remedial Action Unit Operations at Hazardous Waste Disposal Sites.
- 8-B) Francis, Chester. Environment and solid wastes: Characterization, treatment, and disposal. USA, 1983. 498pp.
- 9) Funes, Alberto. "Interrelaciones dentro del sistema de residuos sólidos." En: Ingeniería Sanitaria, Buenos Aires (Argentina),Vol XXXVI, No 2 (Abril-Junio 1982), pp 94-96.
- 10) Gálvez von Collas, Francisco. Aseo urbano: Recolección de residuos sólidos. Versión preliminar. Programa Regional OPS/EMP/CEPIS de Mejoramiento de los Servicios de Aseo Urbano, Perú, 1983. 60 pp.
- 11) Garzón López, Camilo. Estaciones de transferencia. Bogotá (Colombia), Universidad Nacional de Colombia, 1981. Hojas mimeografiadas, 8 pp.

- 12) Gidley, James; Sack, William. "Environmental aspects of waste utilization in construction". En: Journal of Environmental Engineering, USA, Dec. 1984, pp. 1117-1133.
- 13) Gómez-Gómez, Fernando. Reconnaissance of six solid-waste disposal sites in Puerto Rico and effects on Water Quality. Puerto Rico, 1980. U.S. Geological Survey.
- 14) Hartz, Kenneth et al. "Temperature effects: methane generation from landfill samples." En: Journal of Environmental Engineering, USA, Aug. 1982, pp 629-638.
- 15) Huebner, Ronald. "Waste Transfer." En: Waste Age, USA, December (1986), pp 39-43.
- 16) Institute for Solid Wastes of American Public Works Association (ISWAPWA). Tratamiento de los residuos urbanos. Primera edición en español. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1976. 586 pp.
- 17) Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. Descripción de la situación del servicio de recolección de desechos sólidos en las municipalidades del país. IFAM; elaborado por Jeannette Obando y Luis Fernando Maykall, 2 ed., San José: El Instituto, 1987.
- 18) Jiménez Quirós, María Elena y otro. Características y alternativas de aprovechamiento de los desechos sólidos depositados en el relleno sanitario de Río Azul. Proyecto final de graduación: Ingeniería Química. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica, 1984.
- 18-B) Jorgensen, S. Principles of environmental science and technologies. New York, 1981. 516 pp.
- 19) Lachner, María Teresa. Alternativas de reciclaje en plásticos, papel y vidrio. Proyecto final de graduación: Ingeniería Civil. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica, 1990.
- 20) Legget, Robert F.; Karrow, Paul F. Handbook of Geology in Civil Engineering. USA, McGraw-Hill Book Co., 1983. 1338 pp.
- 21) Lohani, Bindu; Ko, S.M. "Optimal sampling of domestic solid waste". En: Journal of Environmental Engineering, USA, Dec 1988, pp 1479-1483.
- 22) López Garrido, Jaime. Basura Urbana: Recogida, eliminación y reciclaje. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1975. 294 pp.
- 23) Madrigal G., Rodolfo. Geología del mapa básico "Barranca", Costa Rica. En: Informes técnicos y notas geológicas. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica, 1970.
- 24) Mantell, Charles. L. Solid Wastes: origin, collection, processing, and disposal. USA, Wiley Interscience, 1975. 1127 pp.

- 25) Meneses Brenes, Gerardo. Informe anual de la Dirección de Saneamiento Ambiental. San José, Municipalidad de San José, 1991.
- 26) Meneses Brenes, Gerardo. Residuos Sólidos. San José, Municipalidad de San José, 1989. 21 pp.
- 26-B) Ministerio de Agricultura y Ganadería. Manual descriptivo de la leyenda del mapa de Capacidad de Uso de la Tierra de Costa Rica. MAG, 1991.
- 27) Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Análisis de la estructura tarifaria para los ferrocarriles estatales. MOPT, Dirección General de Estudios Técnicos, 1983.
- 28) Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM). Congreso Estrategia de Conservación para el Desarrollo Sostenible de Costa Rica (ECODES). San José: Servicios Litográficos Ltda, 1990. 426 pp.
- 29) Ministerio de Salud de Costa Rica, Oficina Sanitaria Panamericana. Problemas de Recolección, Transporte y Disposición de desechos sólidos y posibles soluciones. San Salvador, El Salvador, C.A., Julio 1979.
- 30) Municipalidad de San José. Informe Anual de la Dirección de Saneamiento Ambiental: 1990. San José, 1991. Hojas mimeografiadas.
- 31) Musa, Elías; Ho, G.E. "Optimum Sample Size in Refuse Analysis." En: Journal of Environmental Engineering, USA, Dec. 1981, 1247-1259 pp.
- 32) Nicolás, José Francisco. Generalidades de operación e inversión del sistema ferroviario nacional. Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 1986.
- 33) O'Regan, Robert; Sakurai, Kunistoshi. "Limpieza pública: Costos." En : Gerenciamiento de Sistemas de Residuos Sólidos, Lima (Perú), CEPIS, 1982. 2.1-2.28 pp.
- 34) Olson, Gerald W. Soils and the Environment (A Guide to Soils Surveys and their Applications). USA, Chapman and Hall, 1981. 178 pp.
- 35) Olson, Gerald W. Using Soils of Kansas for Waste Disposal. USA, University of Kansas Publications, 1974. 51 pp.
- 36) Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Use of waste materials and by-products in road construction. París, OECD, 1977.
- 37) Ouano, E. Anthony. "Hauling distance and transfer station location." En: Journal of Environmental Engineering, USA, Dec. 1983, pp 1429-1433.
- 38) Pavoni, Joseph L. et al. Handbook of Solid Waste Disposal (Materials and Energy Recovery). USA, Van Nostrand Reinhold Co., 1975. 549 pp.

- 39) Quesada Mateo, Carlos. Estrategia de Conservación para el Desarrollo Sostenible de Costa Rica, ECODES. Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. San José, Costa Rica. Servicios Litográficos, 1990. 180 pp.
- 40) Ramos Stelin, Luiz Augusto. "Coleta e transporte: Aspectos economicos." En: Gerenciamento de Sistemas de Resíduos Sólidos, Lima (Perú), CEPIS, 1982. 9.1-9.9 pp.
- 41) Ribeiro da Luz, Francisco Javier. Limpieza pública: Transporte. Lima (Perú), CEPIS, 1978, 51 pp.
- 42) Saborío B., Javier. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Planificación de los Recursos Naturales. Hojas mimeografiadas, 1991. 77 pp.
- 43) Salvato, Joseph. Environmental Engineering and Sanitation. USA, Wiley Interscience, 1982. 1163 pp.
- 44) Schaper, Larry. "Transfer Station Planning." En: Waste Age, USA, December (1982). 28-30 pp.
- 45) Schwerter Yaeger, Esteban; Arellano Vaganay, José. Estudio de estaciones de transferencia para las comunas del Sector Oriente del Area Metropolitana de Santiago. Santiago, Universidad de Chile. Presentado en el Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.
- 45b) Semanario "Esta Semana". Informe técnico revela calculos insuficientes para reciclar basura. Semana del 22 al 28 de agosto de 1989. Pág. 3.
- 46) Smiley, Carl H. "Transfer stations provide cost effective option". En: World Wastes, USA, March (1984). 22-23 pp.
- 47) Southern Recycling Systems International Inc.(SRSI). Informe sobre la visita de campo y la revisión preliminar del proyecto para operar el relleno sanitario de Río Azul. USA, 1990. 12 pp.
- 48) Tames Alfaro, Job. Estudio para la selección del equipo requerido para realizar la separación mecanizada de los materiales más valiosos contenidos en los desechos sólidos municipales y su utilización final. Proyecto final de graduación : Ingeniería. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica.
- 49) Todd, David Keith. Groundwater Hidrology. Second edition. USA, John Wiley and Sons, 1980. 535 pp.
- 50) Torres Bacca, William. Estudio del manejo de los desechos sólidos en las comunidades de la Cuenca del Río Segundo: Barva, Santa Bárbara y Flores. Proyecto final de graduación: Ingeniería Civil. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica, 1986. 133 pp.

- 51) Ulate Murillo, Mario. Almacenamiento, recolección y destino final de la basura en las ciudades de San Ramón y Palmares. Proyecto final de graduación: Ingeniería Civil. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica, 1986.
- 52) Unda Opazo, Francisco. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. Primera edición. México, Unión Gráfica S.A., 1969. 870 pp.
- 53) Ureña, Javier y Romero, Luis. Un modelo para la administración eficiente del sistema de recolección y transporte de desechos sólidos a nivel regional. Proyecto final de graduación: Ciencias económicas. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica, 1984.
- 53-B) U.S. Geological Survey. Reconnaissance of six solid-waste disposal sites in Puerto Rico and effects on water quality. San Juan, Puerto Rico, 1980.
- 53-C) USEPA (Environmental Protection Agency). Solid Waste Disposal Facility Criteria; Proposed Rule. Federal Register, 1988.
- 53-D) Vargas, Carlos. Propuesta para la creación de una unidad de Manejo de cuencas en el ICAA y determinación de su marco operativo. CATIE, Turrialba, 1988.
- 54) Vidart, Daniel. Implicaciones socioeconómicas de la producción y manejo de los residuos sólidos por las comunidades humanas. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1981. 51 pp.
- 55) Waller, R.A.; Bradfield, R.E.N. The Environmental Impact of Solid Wastes. Institute Of Solid Wastes Management: 77th Annual Conference Brighton (USA), 1975. 21 pp.
- 56) Weitzenfeld, Henryk. Los residuos sólidos y la Declaración de Impacto Ambiental. Bogotá (Colombia), OPS/OMS, 1981. 30 pp.
- 57) Young, Alan. "Mathematical modeling of landfill gas extraction." En: Journal of Environmental Engineering, USA, Dec. 1989, pp. 1073-1087.
- 58) Zepeda, Francisco. Curso sobre manejo, tratamiento y disposición de desechos sólidos : Diseño de rellenos sanitarios. México, Universidad Autónoma de Nuevo León, 1978.