

### B.4.3 Resultados

#### a. Prospección Eléctrica y Perforación

Se muestran los resultados de prospección eléctrica y perforaciones en la Sección D del Libro de Datos.

Los resultados del estudio indican lo siguiente:

- Etapa I: La profundidad del relleno es de alrededor de 2m - 12m (desde la superficie de la cubierta de tierra).
- Etapa II: La profundidad del relleno es de alrededor de 7m - 12m (desde la superficie de la cubierta de tierra).
- Etapa III: La profundidad del relleno es de alrededor de 8m - 14m (desde la superficie de la cubierta de tierra).

La capa debajo de los residuos es un suelo arcilloso muy compresible en la profundidad del estudio. De acuerdo a la información previa la profundidad de la capa arcillosa compresible es de alrededor de 60m. El Cuadro B-29 muestra el nivel freático.

Cuadro B-29: Nivel Freático

	Nº de Perforación	Nivel Freático
Etapa I	SM-5	0.85 metro
	SM-6	0.64 metro
Etapa II	SM-3	1.10 metro
	SM-4	1.23 metro
Etapa III	SM-1	0.89 metro
	SM-2	0.46 metro

#### b. Prueba In-situ

##### b.1 Prueba de Permeabilidad

###### b.1.1 Tierra Superficial

Se muestra el resultado de la prueba de permeabilidad in-situ de la tierra superficial en el Cuadro B-30.

Cuadro B-30: Resultado de la Prueba de Permeabilidad, Tierra Superficial

	Nº de Perforación	Permeabilidad (cm/seg)
Etapa I	SM-5	1.49E-04
	SM-6	1.37E-04
Etapa II	SM-3	1.05E-04
	SM-4	1.32E-04
Etapa III	SM-1	1.25E-04
	SM-2	2.68E-04

###### b.1.2 Subsuelo

Se muestran los resultados en el Cuadro B-31.

Cuadro B-31: Resultado de la Prueba de Permeabilidad del Pozo Perforado

	Nº de Perforación	profundidad (m)	Permeabilidad (cm/seg)
Etapa I	SM-5	14.00 to 17.10	4.45E-05
	SM-5	17.00 to 20.00	2.77E-05
	SM-6	14.00 to 17.00	4.44E-05
	SM-6	17.00 to 20.00	1.37E-05
Etapa II	SM-3	14.00 to 17.00	2.06E-05
	SM-3	17.00 to 20.00	9.85E-06
	SM-4	14.00 to 17.00	2.41E-05
	SM-4	17.00 to 20.10	2.62E-05
Etapa III	SM-1	13.85 to 17.20	3.71E-05
	SM-1	16.85 to 20.00	1.90E-05
	SM-2	14.00 to 17.00	3.19E-05
	SM-2	17.00 to 20.00	1.39E-05

c. Pruebas de Laboratorio

Los resultados del estudio son mostrados en el Cuadro B-32.

Cuadro B-32: Resultados de las Pruebas de Laboratorio

Ubicación	Etapa III			Etapa II		Etapa I		
	SM-1 9.70- 10.60 m	SM-1 12.40- 13.30 m	SM-2 17.00- 17.90 m	SM-3 8.80-9.70 m	SM-4 19.20- 20.10 m	SM-5 17.00- 18.00 m	SM-6 14.90- 15.90 m	SM-6 15.90- 16.90 m
Tipo de Prueba								
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.501	2.38	2.632	2.488	2.617	2.88	2.48	2.5
PESO UNITARIO (ton/m <sup>3</sup> )	1.299	1.224	1.151	1.205	1.873 1.793	1.3	1.19	-
PROPORCION DE ESPACIO VACIO	3.808	5.796	9.698	6.21	7.303	7.635	-	4.237
GRADO DE SATURACION (%)	98.3	101.6	99.9	99.9	100	96.7	-	99.883
CONTENIDO DE AGUA (%)	101.1	247.5	368.1	249.5	279	265.1	234.3	169.23
LIMITE LIQUIDO (%)	138.7	238	316.5	165	241.8	194.8	371	153
LIMITE PLÁSTICO (%)	40.7	125.4	65.1	54.7	54.9	31.3	69.6	77.5
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	98	112.6	251.4	110.3	186.9	163.5	301.4	75.5
TRIAxIAL C NO-DRENADA (ton/m <sup>2</sup> )	0.5	0	*	0.8	*	1	**	**
ANGULO PHI (GRADOS)	0	0	*	0	*	3	**	**
COMPRESION SIMPLE q <sub>v</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.8	0	7.3,2.1	1.5	2.4 4.2 2.9	1.5	**	**
TAMAÑO DE LOS GRANULOS	100 F	100 F	100 F	100 F	100 F	100 F	100 F	100 F
CONSOLIDACION (INDICE DE COMPRESION)	1.158	1.883	4.734	2.602	3.313	5.481	N.A	1.55

\* Debido a la baja consistencia de la muestra, las pruebas triaxiales no fueron posibles realizarlas, y estas fueron reemplazadas por pruebas simples de compresión.

\*\* Las muestras extraídas con el tubo *shelby* fueron casi totalmente líquidas y, por lo tanto, sólo pruebas de consolidación y de limite de consistencia fueron realizadas.

B.4.4 Hallazgos

a. Nivel Freático

En las Etapas I, II y III donde residuos fueron rellenos sobre el nivel original del terreno, el nivel del agua subterránea es somero; se encuentra a unos 2.0 mts. de la superficie de acuerdo con el "Estudio para el Reuso del Relleno", considerando que el

nivel freático de las perforaciones realizadas para este estudio varía entre 0.8 mts. y 1.2 mts. medidos desde la superficie. El nivel del agua subterránea fuera de las áreas de relleno también se encontró a alrededor de 1.0 mt. de profundidad de la superficie del terreno.

Este fenómeno ocurre por dos motivos. El primero, es que no existe ningún mecanismo de control de los lixiviados, siendo una excepción la Etapa III. El segundo motivo se asocia al volumen substancial de agua de lluvia que se filtra dentro del relleno como consecuencia de la alta permeabilidad del suelo de cobertura que es de alrededor de  $10^{-4}$ (cm/seg.) y que tiene tan sólo 30 cm. de espesor.

En consecuencia, se concluye que el nivel del agua subterránea dentro de las antiguas áreas de relleno (Etapa I, II y III) se ha elevado por sobre la superficie original del terreno debido a la infiltración del agua de lluvia proveniente de la superficie del relleno y la intrusión de agua subterránea proveniente del fondo del relleno como resultado de la fuerza capilar. Lo anterior se ilustra en la Figura B-9.

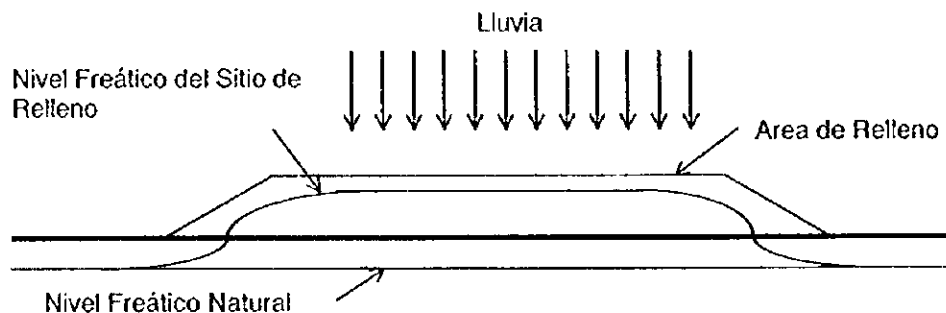


Figura B-9: Ilustración del Nivel Freático en el Sitio de Relleno

## b. Permeabilidad

### b.1 Suelo de Cobertura

Como se mencionó anteriormente, la permeabilidad del suelo de cobertura es relativamente alta, siendo de alrededor de  $10^{-4}$ (cm/seg.) y de poco espesor (30cm). Por lo tanto, un volumen considerable de agua de lluvia se infiltra en las áreas de relleno de residuos, lo que crea condiciones adecuadas para una mayor generación de lixiviados.

### b.2 Suelo de Fundación

Considerando que el suelo de fundación es arcilloso con una permeabilidad de alrededor de  $10^{-5}$ (cm/seg.), algún tipo de impermeabilización es necesaria para operar de manera adecuada un sitio de disposición final de residuos municipales que, a su vez, cumpla con las normas ambientales existentes. Debido a lo anterior, una membrana impermeabilizante de Polietileno de Alta Densidad está siendo instalada en la Etapa IV.

### b.3 Conclusión

Se concluye que deben emplearse membranas impermeabilizantes si se pretende una expansión vertical de las Etapas I, II y/o III; esta impermeabilización se realizaría con

el fin de prevenir la contaminación del agua subterránea con los lixiviados producidos por el relleno.

### c. Mecánica de Suelos

Tomándolos como indicadores de la estabilidad del terreno, la cohesión y el ángulo interno de fricción a unos 10 mts. de profundidad (en otras palabras, a unos 2 metros bajo el terreno original) fueron evaluados y los resultados obtenidos son mostrados en el Cuadro B-33.

Cuadro B-33: Cohesión y Angulo Interno de Fricción

	Etapa I	Etapa II	Etapa III	*Etapa IV
Período de Operación	1985 - 1988	1989 - 1991	1991 - 1993	1993 -
Cohesión (ton/m <sup>2</sup> )	1.0	0.8	0.5	0.8
Angulo Interno de Fricción (grad.)	3.0	0	0	1.8

\* Etapa IV: datos existentes

Al comparar las cifras mostradas con anterioridad y la información geológica obtenida en la Etapa IV, antes que algún tipo de relleno hubiese ocurrido, los siguientes resultados fueron derivados;

- Tanto la cohesión como el ángulo interno de fricción han aumentado para el caso de la Etapa I, donde casi 10 años han transcurrido después de terminados los trabajos de relleno. Lo anterior lleva a concluir que la estabilidad del terreno ha mejorado como resultado de la compresión del material de fundación.
- Por otra parte, las cifras obtenidas para las Etapas I y II son similares o menores que aquellas de la Etapa IV; se puede observar que no ha habido una mejoría en la estabilidad del terreno como resultado de la compresión.

En consecuencia, se prevé que se requerirá que transcurra un tiempo considerable para que exista una mejoría en la estabilidad del terreno como resultado de la compresión del material de fundación.

## B.5 Investigación de Mercado para los Sub-Productos

### B.5.1 Objetivo

La investigación incluyó el mercado actual y las demandas potenciales para los materiales reciclados que serían producidos por las alternativas técnicas propuestas por el P/M, en particular composta y plástico.

La magnitud de los mercados y sus precios son los principales puntos de estudio dado que podrían influenciar en gran parte la selección de las alternativas técnicas. Materiales como las botellas, latas, plástico, composta, calor y energía eléctrica serán estudiados por medio del uso de información estadística y entrevista con funcionarios de INARE que se encuentren relacionados con las áreas caloríficas y eléctricas; además, se entrevistará al personal que trabajó previamente en las instalaciones de compostaje.

## B.5.2 Metodología

### a. Objeto de la Investigación

Las siguientes empresas serán objetos de la investigación.

- empresas recicladoras de vidrio,
- empresas recicladoras de latas de aluminio y fierro
- empresas recicladoras de plásticos
- empresas de composta
- empresas eléctricas
- empresas de suministro de calefacciones
- INARE
- otras uniones que traten materiales reciclables
- recicladores informales.

### b. Número de Muestras

La investigación se llevó a cabo en 22 compañías. El Cuadro B-34 muestra la reseña de las empresas investigadas.

**Cuadro B-34: Reseña de las Empresas Investigadas**

	Nombre de Empresa o Institución	Categorías Manejadas
1	Sr. Fernando Rosales	Compra-venta Vidrio, fierro, aluminio, cartón, periódico, papel.
2	Vidrería México S.A. DE C.V.	
3	José González	Cartón y Papel
4	Bodega Tacubaya S.A.	Papel y cartón
5	La bodeguita	Chatarra, Papel, Cartón y Latas de Aluminio.
6	María Pérez García.	Compra venta de papel
7	Antonio Hernández	Papel y Cartón.
8	José Vidal.	PLÁSTICO.
9	José Luis Pineda.	compra - venta de latas de aluminio y chácharas (juguetes , zapatos, ropa , etc.)
10	Angel Basilio Hernández	Compra - venta de vidrio.
11	Comercializadora de fibras secundarias S.A. de C.V.	Distribución de fibras secundarias compra-venta papel
12	Todo de cartón S.A de C.V.	Envases y embalajes de cartón corrugado
13	Procesadora y recicladora El Ancla S.A. de C.V.	Desechos ferrosos y no ferrosos
14	Marco Antonio Rueda	Papel y cartón
15	Vidriera Los Reyes	Pedacera de vidrio
16	Sacarias Cepeda Guadarrama	(latas) compra-venta de fierro, cobre, bronce y latas de aluminio
17	José Silverio Escobar	ompra-venta de cartón y latas
18	María de la Cruz Baéz Montes	Vidrio, tortilla y colchones
19	Comercial Carimex	Desechos de papel
20	Interamericana de Metales	Compra-venta de inoxidable y aleaciones no ferrosas, principalmente las derivadas del cobre
21	Dirección General de Servicios Urbanos	Composta de desechos de poda
22	Rubén Jiménez	Vidrio

### c. Aspectos de la Investigación

Los aspectos investigados son los siguientes.

- Datos generales de la empresa (número de empleados, antigüedad de la empresa, días laborables, ventas anuales, etc.)
- Actividades principales (reciclaje, recolección, separación, corretaje, etc.)
- Perfil de los clientes principales (tipo de industria, precio y monto de venta, etc.)
- Perfil de los proveedores principales (tipo de material, costo original, cantidad de suministro)
- Método de tratamiento y/o proceso
- Reseña de las instalaciones de tratamiento y/o proceso
- Categorías principales de reciclaje
- Método de transportación
- Otros

## B.5.3 Resultados de la Investigación

### a. Magnitud del Mercado para Materiales Reciclables

En primer lugar, se calculó la magnitud del mercado futuro para materiales reciclables en el DF en el año 2010 mediante la estimación de la cantidad de papel, vidrio, plástico, aluminio y hojalata y a partir de estudios previos<sup>5</sup>; posteriormente, se utilizó la proporción de materiales reciclados para la cantidad de producción estimada, obtenida a partir de estadísticas de la OCDE y de la experiencia japonesa.

#### a.1 Cantidad de Materiales Producidos

El Cuadro B-35 muestra el pronóstico de la demanda de papel, vidrio, plástico, aluminio y hojalata en el GDF.

Cuadro B-35: Pronóstico de Producción Futura en el GDF

Unidad: 1,000 ton/año

	Papel	Vidrio	Plástico	Aluminio	Hojalata	Observaciones
1988	2,149	4,496	382	75	619	• Datos existentes
1989	2,281	4,998	411	66	545	
1990	2,412	5,499	439	58	488	
1991	2,544	6,001	468	53	449	
1992	2,675	6,503	496	49	427	
1993	2,807	7,004	525	47	422	
1994	2,938	7,506	554	47	435	
1995	3,069	8,008	582	49	464	
1996	3,201	8,510	611	53	511	
1997	3,332	9,011	639	58	576	
1998	3,464	9,513	668	66	658	
1999	3,595	10,015	696	76	757	
2000	3,727	10,516	725	87	873	
2001	3,858	11,018	753	100	1,007	
2002	3,990	11,520	782	116	1,158	
2003	4,121	12,021	810	133	1,326	

<sup>5</sup> ESTUDIO INTEGRAL SOBRE ASPECTOS OPERACIONALES Y ECONÓMICOS DE LA PLANTA DE SELECCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE BORDO PONIENTE, DDF, DGSU, 1992.

	Papel	Vidrio	Plástico	Aluminio	Hojalata	Observaciones
2004	4,252	12,523	839	152	1,511	
2005	4,384	13,025	867	173	1,714	
2006	4,515	13,526	896	195	1,934	
2007	4,647	14,028	924	220	2,172	
2008	4,778	14,530	953	247	2,427	
2009	4,910	15,031	982	275	2,699	
2010	5,041	15,533	1,010	306	2,988	

\* ESTUDIO INTEGRAL SOBRE ASPECTOS OPERACIONALES Y ECONÓMICOS DE LA PLANTA DE SELECCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE BORDO PONIENTE, DDF, DGSU, 1992

Al determinar los datos a futuro, se consideró una curva ascendente de tipo lineal, logarítmica, polinómica, de potencia o exponencial para expresar la tendencia. Se comparó  $R^2$  para cada curva y se adoptó la ecuación con el valor  $R^2$  mayor.

Las curvas de regresión para cada material se expresan de la siguiente manera.<sup>6</sup>

Papel	: $y = 131.45x + 2,017.81$	( $R^2 = 0.9703$ )
Vidrio	: $y = 501.68x + 3,994.4$	( $R^2 = 0.9854$ )
Plástico	: $y = 28.533x + 353.78$	( $R^2 = 0.978$ )
Aluminio	: $y = 0.9502x^2 - 12.335x + 86.81$	( $R^2 = 0.7586$ )
Hojalata	: $y = 8.6548x^2 - 100.03x + 710.64$	( $R^2 = 0.9571$ )

## a.2 Proporción de Material Reciclado

El Cuadro B-36 muestra la proporción de material reciclado del total de materia prima. Sólo hay datos disponibles para la producción de papel y vidrio.

Cuadro B-36: Proporción de Material Reciclado en países de la OCDE

unidad : %

Año	Papel				Vidrio			
	1975	1980	1985	1990	1975	1980	1985	1990
Japón	39.6	48.1	49.6	-	-	35.3	47.2	*47.9
EUA	19.1	21.8	21.3	28.6	3.0	5.3	7.6	19.9
Francia	31.7	37.0	41.3	45.7	-	20.0	26.0	28.5
Dinamarca	28.4	25.6	31.3	35.4	-	8.0	48.3	60.4
Portugal	40.7	38.0	38.4	39.1	-	-	10.0	30.0
España	-	38.1	56.7	51	-	-	13.1	27.0
Promedio	31.9	34.8	39.8	40	3.0	17.2	25.4	35.6

Fuente: Datos Ambientales de la OCDE, 1993, \*.Keyword of Recycling 3<sup>rd</sup> Edition, 1997, Clean Japan Center

El Cuadro B-37 muestra la proporción de material reciclado del total de materia prima para producir papel, vidrio, plástico y aluminio en Japón.

<sup>6</sup> X denota el orden por año, siendo 1998 x=1, 1999 x=2, etc. Y denota la magnitud de la demanda.

**Cuadro B-37: Proporción de Material Reciclado en Japón**

Papel	Vidrio	Plástico	Aluminio
53.6 (%)	65 (%)	10.7 (%)	22 (%)

Fuente: Keyword of Recycling 3<sup>th</sup> Edition, 1997, Clean Japan Center

Estas proporciones varían con factores tales como la situación económica y las políticas de promoción del mercado de reciclaje de cada país. Las cifras se muestran en el Cuadro B-36 y Cuadro B-37, en general tienen una tendencia a la alza.

Ya que no existen datos estadísticos semejantes a los anteriores para el DF, no se puede calcular la proporción futura con la información actual. Por lo tanto, las cifras del Cuadro B-38 se hicieron con base en el Cuadro B-36 y Cuadro B-37.

**Cuadro B-38: Proporción de Reciclaje del DF en el año 2010**

Papel	Vidrio	Plástico	Aluminio
40 (%)	35 (%)	10 (%)	20 (%)

Utilizando los valores anteriores, el Cuadro B-39 muestra la magnitud del mercado de materiales reciclados en el DF en el año 2010.

**Cuadro B-39: Magnitud del Futuro Mercado de Materiales Reciclados del DF en el 2010**

	Papel	Vidrio	Plástico	Aluminio
Cantidad producida (1,000 ton/año)	5,041	15,533	1,010	306
Proporción de reciclaje (%)	40 (%)	35 (%)	10 (%)	20 (%)
Magnitud del mercado (1,000 ton/año)	2,000	5,400	100	60

#### b. Composta

No existe un mercado explícito para la composta, pero la DGSU abastece mensualmente de 10 a 20 ton de este producto - utilizando ramas podadas y césped - para aplicarlo en los bordes de los caminos. Además, una compañía privada<sup>7</sup> produce composta a partir de residuos industriales orgánicos - como los de la refinación del azúcar, cerveza y de la producción de champiñones -, pero a pequeña escala. Sin embargo, la demanda de acondicionadores orgánicos para el suelo es alta: se informa<sup>8</sup> que en las montañas existen una serie de sitios ilegales con abono nutritivo (llamados *tirrerros*), explotados por la industria de la horticultura y por jardineros que requieren este acondicionador, pero que erosionan de manera considerable el suelo.

Por otra parte, de acuerdo con un informe<sup>9</sup> preparado para la planta de compostaje de Bordo Poniente planeada para 1993, la demanda de composta para cubrir los residuos depositados en los rellenos, como acondicionador del suelo en áreas verdes de las delegaciones y para reforestación fue de aproximadamente 1,750,000 ton/año. El

<sup>7</sup> Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta Productora de Composta, DGSU.

<sup>8</sup> Compostaje de Orgánicos en la Ciudad de México, Christian González del Campo, Biociclo.

<sup>9</sup> Información solicitada para la composta para el análisis de la planta de tratamiento de Bordo Poniente durante la reunión del 22 de abril de 1993, Sr. Juan Rodríguez Jaquez.



informe de E/F para la planta de compostaje de Bordo Poniente que realizó la DGSU<sup>9</sup> muestra la demanda potencial de composta, tal y como está expuesto en el Cuadro B-40.

Cuadro B-40: Demanda Potencial de Composta

unidad : ton/año

	Agricultura	Reforestación	Invernaderos	Cubierta final para relleno	Áreas verdes	Super mercados	Total
Total regional	-	-	-	-	-	-	5,986,517
DF	186,235	731	72,000	560,960	35,655	387	855,969
Estado de México	1,517,257	2,590	-	58,901	-	-	1,578,748
Hidalgo	1,327,710	-	-	9,910	-	-	1,337,620
Morelos	444,338	277,711	-	-	-	-	722,048
Puebla	1,231,749	649	-	-	-	-	1,232,398
Tlaxcala	248,607	2,298	-	8,829	-	-	259,734

Estos estudios disponibles concluyen que la demanda de composta será de aproximadamente 1,750,000 y 5,980,000 ton/año.

c. **Electricidad**

El Cuadro B-41 muestra la demanda de electricidad durante 1988, 1994 y 1997 en el país de acuerdo con la CFE (Comisión Federal Electricidad). Con base en estas cifras, se calculó la demanda de esta energía hasta el año 2010, tal y como se observa en el Cuadro B-42.

Cuadro B-41: Demanda de Electricidad

	1988	1994	1997
Demanda (GW/hr)	101,905	137,522	161,386

Fuente: CFE y Secretaría de Energía

Cuadro B-42: Pronóstico de la Demanda de Electricidad

Año	Demanda de Electricidad (GW/hr)
1988	101,905
1994	137,522
1997	161,386
1998	166,000
1999	172,000
2000	179,000
2001	185,000
2002	192,000
2003	198,000
2004	205,000
2005	211,000
2006	218,000
2007	224,000
2008	231,000
2009	237,000
2010	244,000

La curva de regresión se deriva de la siguiente manera.<sup>10</sup>

$$y = (6.5129x - 12,847) \times 1,000 \quad (R^2 = 0.9942)$$

#### d. Precio

Se estudiaron los precios del mercado principalmente por medio de entrevistas a las compañías que se muestran en el Cuadro B-34. Los resultados se resumen en el Cuadro B-43.

Cuadro B-43: Promedio de Compraventa de los Materiales Reciclados

unidad: pesos/kg.

		Papel	Plástico	Lata de aluminio	Vidrio	Cartón	Composta
Compra	Recolector Informal	0.25	0.6	6.0	0.25	-	-
	Comerciante	0.35		6.5	0.75	0.37	-
	Fabricante	-	0.75	-	-	-	-
Venta	Recolector Informal	0.25	1.0	7.0	0.14	0.4	-
	Comerciante	-	-	7.0	-	-	-
	Fabricante	-	3.6	-	0.7	-	0.7

El precio promedio de la electricidad en 1997<sup>11</sup> fue de 0.384 pesos/kWh, mientras que el costo de generación de la energía fue de 0.273 pesos/kWh.

### B.5.4 Hallazgos

#### a. Material Reciclado

Las cifras del Cuadro B-39 indican la magnitud total del mercado de los materiales individuales. Si se utilizan los precios de venta del Cuadro B-43, la magnitud del mercado en el GDF se expresa en pesos, como en el Cuadro B-44.

Cuadro B-44: Magnitud del Mercado de Materiales Reciclados Estimado para el GDF en el año 2010

	Papel	Vidrio	Plástico	Aluminio	Total
Proporción unitaria (pesos/ton)	250	700	3,600	7,000	-
Magnitud del mercado (1,000 ton/año)	2,000	5,400	100	60	-
Magnitud del mercado (1,000 pesos/año)	500,000	3,780,000	360,000	420,000	5,060,000

Se estima que la magnitud del mercado para los materiales reciclados será de 5,000 millones de pesos/año en el año 2010 (con precio de 1998), asumiendo que no haya una caída importante en sus precios de venta. Si se considera la demanda fuera del DF, la magnitud del mercado puede ser mucho mayor.

Sin embargo, a medida que se proporciona más material reciclado al mercado, los precios de venta tienden a disminuir gradualmente hasta menos de cero cuando no existe hay beneficio sino más bien un costo por abastecerlo. Para evitar situaciones de

<sup>10</sup> X denota el año (1997, 1998, etc.) mientras que Y denota la demanda de electricidad.

<sup>11</sup> Datos de la CIE y de la Secretaría de Energía

este tipo, será necesaria la política que se muestra a continuación, además de la promoción del reciclaje.

- Promover la industria de recuperación de recursos
- Alentar el uso de material reciclado

#### **b. Composta**

Tal y como se mencionó anteriormente respecto a la composta, el mayor proveedor de la misma es la planta de compostaje del GDF, el cual produce únicamente de 10 a 20 toneladas al mes.

Por otra parte, cada día se establece más población cerca de las áreas que antes se utilizaban para relleno de Bordo Poniente I, II, y III (aproximadamente 260ha), en donde se espera un paisaje con áreas verdes sin árboles. Sin embargo, estas áreas se encuentran en la zona del ex lago de Texcoco con un alto grado de salinidad en el suelo, por lo que se necesitará el mejoramiento del suelo para restablecer las áreas verdes. En consecuencia, si se necesita proveer anualmente un acondicionador para la tierra de 30 cm de grosor en estas áreas, se puede esperar una demanda de composta de aproximadamente 80,000 ton/año.

Incluso, si se necesita aplicar composta en otras áreas del ex lago de Texcoco, su demanda aumentará considerablemente.

Además, los estudios existentes muestran que la futura demanda de este producto será de entre 1,750,000 5,980,000 ton/año. Esto sugiere que, si la calidad de la composta es satisfactoria, se puede esperar una mayor demanda de la misma.

#### **c. Electricidad**

Por otra parte, el precio actual de generación de electricidad es tan bajo (0.273 pesos/kWh (1U\$=9.1pesos, 0.03U\$/kWh)) que no es factible obtener electricidad a partir de la incineración.

Por lo tanto, el reciclaje de materiales es un área prometedora como método de recuperación de residuos sólidos municipales en el DF.

## **B.6 Investigación de Reutilización del Relleno en Bordo Poniente**

### **B.6.1 Objetivo**

El propósito de este trabajo es obtener información sobre las características físicas y químicas de los residuos enterrados en el sitio de disposición final de Bordo Poniente (en las Etapas I, II y III), para ver las posibilidades de reutilizar esos rellenos en un futuro como materiales de recuperación, composta o recubrimiento de tierra u obtención de espacio para futuros rellenos.

## B.6.2 Metodología

### a. Sitio y Cantidad de la Investigación

Las áreas en Etapa I, II y III del Bordo Poniente en donde los rellenos hayan sido terminados fueron investigados hace algunos años. Las localizaciones de los estudios fueron escogidas en base a aquellas que cuentan con una profundidad de desecho lo suficientemente espesa, la cual fue averiguada por medio de prospecciones eléctricas y perforación en el Estudio Ambiental de Bordo Poniente.

El trabajo de investigación de la explotación del campo fue llevada a cabo en un total de 6 sitios: fueron hechas 2 en la Etapa I, 2 en la Etapa II, y 2 en la Etapa III en el Sitio de Disposición Final del Bordo Poniente. Las excavaciones fueron cubiertas de nuevo en cada sitio. Los detalles del trabajo están descritos en los puntos siguientes: (b. - h.)

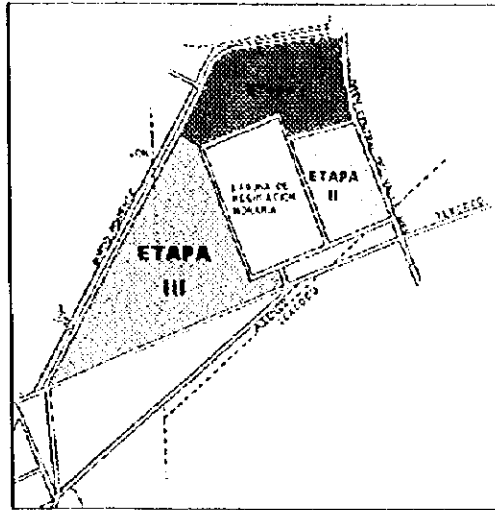


Figura B-10: Mapa de localización

### b. Protección Temporal para la Excavación en Laderas

Las labores de protección para la excavación de los hoyos en las laderas se efectuaron mediante las siguientes actividades:

- Colocación temporal de postes para asegurar las dimensiones internas de las excavaciones.
- Colocación de hojas y material necesario para asegurar las dimensiones medibles de las excavaciones.

### c. Excavaciones de Tierra de Cubierta y Residuos Enterrados

Este trabajo de excavación en sitios de residuos enterrados se divide en:

- Excavación de una capa de tierra que cubre los residuos
- Excavación de los residuos enterrados por profundidad en 3 niveles
- Estos niveles deberán estar protegidos y delimitados respectivamente para medir sus dimensiones.

Las dimensiones internas de las excavaciones eran aproximadamente de:

- 2.5 metros de longitud y 2.5 metros de ancho en la superficie
- 4.0 metros de profundidad
- 2.0 metros de longitud y 2.0 metros de ancho en el fondo

Las dimensiones actuales medidas se presentan en la siguiente sección.

#### d. Medición del Volumen y Peso de las Excavaciones

Este trabajo sirve para medir y pesar los 4 diferentes niveles de las excavaciones de residuos enterrados y la capa que los cubre, lo que hace un total de 4 niveles.

- El volumen de excavación en cada nivel fue medido por la dimensión interna de la excavación.
- El peso de los materiales excavados en cada nivel fue medido por medio de la báscula de peso. Los materiales excavados fueron transportados hacia las básculas y de regreso a las excavaciones en camiones. El camión fue pesado de nuevo en vacío a fin de calcular el peso del material excavado.

#### e. Inspección de la Composición Física de los Residuos Enterrados

Este trabajo cubre todas las tareas para realizar el análisis de la composición física de los residuos, éstos fueron extraídos de cada nivel de la excavación y se dividen en:

- vidrio
- aluminio
- acero
- combustibles
- tierra, etc.

Y fueron pesados respectivamente en sus unidades de medición.

#### f. Pruebas de Laboratorio para el Análisis Químico de los Residuos Enterrados

Este trabajo es para realizar todas las pruebas necesarias para el análisis de la composición química de los residuos enterrados por niveles. Los análisis fueron realizados en un laboratorio, y en la división de 14 elementos, de acuerdo con los estándares de la US-EPA para el uso de lodo para la agricultura.

- Carbón, Nitrógeno, pH, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, As, Molibdeno, Selenio, PCB.

#### g. Rellenado de las Excavaciones

Este trabajo consiste en:

- Primero, depositar de nuevo los materiales y residuos extraídos de cada lugar y su compactación por niveles.
- Segundo, agregar algo de tierra de la excavación como capa de recubrimiento que quede bien compacta.
- Tercero, adicionar material extra de tierra (tierra importada) con suficiente compactación.

La capa de recubrimiento de la superficie se elaboró con un abultamiento redondo con aproximadamente 40 cms. de altura desde el centro del nivel existente.

### B.6.3 Resultados

#### a. Puntos de Muestreo

El resumen de identificación de puntos de muestreo es presentado en el siguiente cuadro.

**Cuadro B-45: Identificación de Puntos de Muestreo**

No. etapa	No. de pozo	Estrato	Nivel
ETAPA I	3	estrato 3-1	superficial
		estrato 3-2	intermedio
		estrato 3-3	inferior
	4	estrato 4-1	superficial
		estrato 4-2	intermedio
		estrato 4-3	inferior
ETAPA II	5	estrato 5-1	superficial
		estrato 5-2	intermedio
		estrato 5-3	inferior
	6	estrato 6-1	superficial
		estrato 6-2	intermedio
		estrato 6-3	inferior
ETAPA III	1	estrato 1-1	superficial
		estrato 1-2	intermedio
		estrato 1-3	inferior
	2	estrato 2-1	superficial
		estrato 2-2	intermedio
		estrato 2-3	inferior

**b. Composición Física**

Los resultados de composición física de seis puntos de muestreo son presentados en los siguiente cuadros.

**Cuadro B-46: Composición de Residuos Extraídos por Estrato, Pozo No. 1 en Bordo Poniente Etapa III**

SUBPRODUCTO	ESTRATO 1-1		ESTRATO 1-2		ESTRATO 1-3	
	kg	%	kg	%	kg	%
ALUMINIO	0.060	0.12	0.145	0.29	0.000	0.00
FIERRO	0.790	1.54	0.895	1.80	0.815	1.38
VIDRIO	0.970	1.89	1.715	3.45	1.730	2.93
PLÁSTICO	5.970	11.61	7.925	15.96	4.380	7.43
MATERIAL COMBUSTIBLE	20.410	39.70	3.745	7.54	18.330	31.09
TIERRA Y LODO	23.215	45.15	35.230	70.95	33.705	57.17
Total de Muestra	51.415	100.00	49.655	100.00	58.960	100.00

**Cuadro B-47: Composición de Residuos Extraídos por Estrato, Pozo No. 2 en Bordo Poniente Etapa III**

SUBPRODUCTO	ESTRATO 2-1		ESTRATO 2-2		ESTRATO 2-3	
	kg	%	kg	%	kg	%
ALUMINIO	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
FIERRO	0.855	1.60	1.290	2.53	2.765	5.18
VIDRIO	1.130	2.12	0.000	0.00	0.665	1.25
PLÁSTICO	9.500	17.82	16.785	32.90	8.845	16.56
MATERIAL COMBUSTIBLE	12.250	22.98	4.380	8.58	11.385	21.32
TIERRA Y LODO	29.565	55.47	28.565	55.99	29.74	55.69
Total de Muestra	53.300	100.00	51.020	100.00	53.400	100.00

Cuadro B-48: Composición de Residuos Extraídos por Estrato, Pozo No. 3 en Bordo Poniente Etapa I

SUBPRODUCTO	ESTRATO 3-1		ESTRATO 3-2		ESTRATO 3-3	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%
ALUMINIO	0.065	0.11	0.000	0.00	0.000	0.00
FIERRO	1.680	2.93	0.710	1.02	0.530	1.05
VIDRIO	1.770	3.09	2.105	3.03	0.000	0.00
PLÁSTICO	9.120	15.92	19.010	27.37	23.490	46.53
MATERIAL COMBUSTIBLE	11.265	19.66	13.170	18.96	6.230	12.34
TIERRA Y LODO	33.400	58.29	34.460	49.61	20.235	40.08
Total de Muestra	57.300	100.00	69.455	100.00	50.485	100.00

Cuadro B-49: Cuadro 3.5 Composición de Residuos Extraídos por Estrato, Pozo No. 4 en Bordo Poniente Etapa I

SUBPRODUCTO	ESTRATO 4-1		ESTRATO 4-2		ESTRATO 4-3	
	kg	%	kg	%	kg	%
ALUMINIO	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
FIERRO	0.000	0.00	2.410	4.82	0.000	0.00
VIDRIO	2.200	4.32	1.190	2.38	1.920	3.66
PLÁSTICO	8.155	16.02	17.030	34.08	19.845	37.80
MATERIAL COMBUSTIBLE	9.765	19.18	9.540	19.09	5.125	9.76
TIERRA Y LODO	30.795	60.48	19.800	39.62	25.610	48.78
Total de Muestra	50.915	100.00	49.970	100.00	52.500	100.00

Cuadro B-50: Composición de Residuos Extraídos por Estrato, Pozo No. 5 en Bordo Poniente Etapa II

SUBPRODUCTO	ESTRATO 5-1		ESTRATO 5-2		ESTRATO 5-3	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%
ALUMINIO	0.000	0.00	0.040	0.07	0.000	0.00
FIERRO	0.545	1.07	1.735	3.15	0.650	1.28
VIDRIO	2.170	4.27	1.980	3.59	0.940	1.84
PLÁSTICO	4.880	9.59	15.020	27.23	12.500	24.52
MATERIAL COMBUSTIBLE	23.320	45.84	11.855	21.50	2.290	4.49
TIERRA Y LODO	19.955	39.23	24.520	44.46	34.600	67.87
Total de Muestra	50.870	100.00	55.150	100.00	50.980	100.00

Cuadro B-51: Composición de Residuos Extraídos por Estrato, Pozo No. 6 en Bordo Poniente Etapa II

SUBPRODUCTO	ESTRATO 6-1		ESTRATO 6-2		ESTRATO 6-3	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%
ALUMINIO	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
FIERRO	1.310	2.53	0.695	1.36	0.155	0.28
VIDRIO	1.350	2.61	1.030	2.02	3.415	6.17
PLÁSTICO	16.000	30.94	9.265	18.19	8.715	15.75
MATERIAL COMBUSTIBLE	16.150	31.23	15.100	29.64	4.305	7.78
TIERRA Y LODO	16.900	32.68	24.850	48.78	38.750	70.02
Total de Muestra	51.710	100.00	50.940	100.00	55.340	100.00

### c. Peso Volumétrico

El resumen de peso volumétrico de la cubierta final es presentado en el siguiente cuadro.

**Cuadro B-52: Peso Volumétrico de la Cubierta Final de Cada Uno de los Pozos Explorados**

POZO No.	ANCHO (m)	LARGO (m)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PESO (ton)	DENSIDAD (ton/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO (ton/m <sup>3</sup> )
1	2.500	2.500	0.215	1.345	2.390	1.777	1.672
2	2.500	2.500	0.215	1.344	2.480	1.846	
3	2.450	2.500	0.222	1.362	2.480	1.821	
4	2.500	2.850	0.261	1.858	3.150	1.695	
5	2.500	2.950	0.371	2.734	3.860	1.412	
6	2.500	2.500	0.390	2.434	3.600	1.479	

#### c.1 Peso Volumétrico del Estrato Superficial

El siguiente cuadro presenta el peso volumétrico promedio de los estratos superficiales.

**Cuadro B-53: Peso Volumétrico de los Residuos Extraídos del Estrato 1 para Cada Uno de los Pozos Estudiados**

Pozo-Estrato	ANCHO (m)	LARGO (m)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PESO (ton)	DENSIDAD (ton/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO (ton/m <sup>3</sup> )
1-1	2.500	2.600	1.352	8.790	8.250	0.939	1.122
2-1	2.400	2.550	0.984	6.025	6.710	1.114	
3-1	2.250	2.300	1.224	6.333	8.440	1.333	
4-1	2.550	2.850	1.232	8.950	13.830	1.545	
5-1	2.350	2.700	1.107	7.021	6.650	0.947	
6-1	2.130	2.800	1.261	7.522	6.430	0.855	

#### c.2 Peso Volumétrico del Estrato Intermedio

El siguiente cuadro presenta el peso volumétrico promedio de los estratos intermedios.

**Cuadro B-54: Peso Volumétrico de los Residuos Extraídos del Estrato 2 para Cada Uno de los Pozos Estudiados**

Pozo-Estrato	ANCHO (m)	LARGO (m)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PESO (ton)	DENSIDAD (ton/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO (ton/m <sup>3</sup> )
1-2	2.700	2.700	1.653	7.163	11.530	1.610	1.839
2-2	2.500	2.650	1.456	6.358	12.560	1.975	
3-2	2.150	2.100	1.075	4.407	9.590	2.176	
4-2	2.350	2.520	1.126	5.188	9.780	1.885	
5-2	2.350	2.650	1.096	5.255	9.970	1.897	
6-2	2.100	2.400	0.948	4.376	6.530	1.492	

#### c.3 Peso Volumétrico del Estrato Inferior

El siguiente cuadro presenta el peso volumétrico promedio de los estratos inferiores.



**Cuadro B-55: Peso Volumétrico de los Residuos Extraídos del Estrato 3 para Cada Uno de los Pozos Estudiados**

Pozo-Estrato	ANCHO (m)	LARGO (m)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PESO (ton)	DENSIDAD (ton/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO (ton/m <sup>3</sup> )
1-3	2.200	2.400	0.700	3.697	9.210	2.491	1.797
2-3	2.300	2.450	1.315	7.412	8.806	1.188	
3-3	2.300	2.400	1.090	6.016	13.050	2.169	
4-3	2.250	2.450	1.382	7.616	10.760	1.413	
5-3	2.200	2.400	1.296	6.844	9.890	1.445	
6-3	2.200	2.260	1.099	5.463	11.350	2.078	

**d. Comparación de la Composición Física por Estrato**

El siguiente cuadro presenta la comparación de la composición física por estratos.

**Cuadro B-56: Composición de Material Combustible, Tierra y Lodo, y No - Combustible Por Estrato-1, -2, y -3 (%)**

No de Pozo	Superficial Estrato -1			Intermedio Estrato -2			Inferior Estrato -3			
	Material No-comb. (Unidad)	Material Comb. (%)	Tierra y Lodo (%)	Material No-comb. (%)	Material Comb. (%)	Tierra y Lodo (%)	Material No-comb. (%)	Material Comb. (%)	Tierra y Lodo (%)	Material No-comb. (%)
1		39.70	45.15	15.15	7.54	70.95	21.51	31.09	57.17	11.74
2		22.98	55.47	21.55	8.58	55.99	35.43	21.32	55.69	22.99
3		19.66	58.29	22.05	18.96	49.61	31.43	12.34	40.08	47.58
4		19.18	60.48	20.34	19.09	39.62	41.29	9.76	48.78	41.46
5		45.84	39.23	14.93	21.50	44.46	34.04	4.49	67.87	27.64
6		31.23	32.68	36.09	29.64	48.78	21.58	7.78	70.02	22.20
Promedio		29.77	28.55	21.68	17.55	51.57	30.88	14.46	56.60	28.94

**e. Comparación de la Composición Física por Etapa**

El siguiente cuadro presenta la comparación de la composición física por Etapa I, II, y III.

**Cuadro B-57: Composición de Material Combustible, Tierra y Lodo, y No - Combustible Por Etapa I, II, y III (%)**

No de Pozo	(Unidad)	Material Combustible			Tierra y Lodo			Material No-combustible		
		Superficial Estrato1 (%)	Intermedio Estrato2 (%)	Inferior Estrato3 (%)	Superficial Estrato1 (%)	Intermedio Estrato2 (%)	Inferior Estrato3 (%)	Superficial Estrato1 (%)	Intermedio Estrato2 (%)	Inferior Estrato3 (%)
Etapa III	1	39.70	7.54	31.09	45.15	70.95	57.17	15.15	21.51	11.74
	2	22.98	8.58	21.32	55.47	55.99	55.69	21.55	35.43	22.99
	Promedio	21.89			56.74			21.40		
Etapa I	3	19.66	18.96	12.34	58.29	49.61	40.08	22.05	31.43	47.58
	4	19.18	19.09	9.76	60.48	39.62	48.78	20.34	41.29	41.46
	Promedio	16.50			49.48			34.03		
Etapa II	5	45.84	21.50	4.49	39.23	44.46	67.87	14.93	34.04	27.64
	6	31.23	29.64	7.78	32.68	48.78	70.02	36.09	21.58	22.20
	Promedio	23.41			50.51			26.08		

Cuadro B-58: Resultados de los Análisis Químicos (Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, pH y Contenido de Agua)

No. de Muestra	Elementos Analizados (mg/kg base seca)							pH	H <sub>2</sub> O (% en peso)
	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn		
1-1	5.1	44.5	97.5	<23	46.5	144	356.5	8.26	17.5
1-2	4.35	65	98.5	<23	20.5	146.5	498	8.235	44.9
1-3	3.95	73.5	58.5	<23	34.5	122.5	597.5	7.775	26.05
2-1	3.5	156.5	322	<23	64	128	394	8.075	26.05
2-2	4.2	129.5	214.5	<23	56.5	141.5	556	8.52	32.55
2-3	4.7	116	70	<23	44	124	325.5	9.04	35.15
3-1	4.7	76.5	65.5	<23	40.5	211.5	182	8.43	26.6
3-2	5.45	173	184.5	<23	146.5	182	540	8.62	41.9
3-3	3.8	46.5	81.5	<23	36	137	154.5	8.85	28.95
4-1	6.8	129.5	447.5	<23	62.5	210.5	645.5	8.47	34
4-2	7.6	336	443.5	<23	75	298	623	8.9	48.75
4-3	5.4	95	122.5	<23	42	170.5	256	9.06	34.75
5-1	4.4	159.5	91	<23	38.5	104	150.5	7.75	22.4
5-2	7.25	106.5	229.5	<23	213.5	164	464	8.575	43.75
5-3	5.2	77	63.5	<23	62	53	148	8.955	33.1
6-1	8.7	158	3,516.5	<23	104	236.5	3,388.5	8.165	44
6-2	4.8	321	78	195.5	44.5	156	644	7.95	30.85
6-3	4.95	75	87.5	<23	36	95.5	253.5	8.255	36.2
Promedio de las 18 muestras	5.27	129.9	348.4	-	64.8	156.9	565.4	8.44	33.75
Límite de contaminantes aplicados a la tierra de la US-EPA									
Tope límite de concentración (mg/kg.)	85	3,000	4,300	75	420	840	7,500	-	-
Límite de concentración de contaminante de "alta calidad" (mg/kg.)	39	1,200	1,500	18*	420	300	2,800	-	-
Proporción anual de carga de contaminantes (kg./ha/día)	1.90	150.00	75.00	0.90	21.00	15.00	140.00	-	-

Nota: La muestra y el parámetro cuya concentración está por encima del límite permisible está sombreada.

\* En febrero de 1994, el EPA retiró el valor del molibdeno de 18 mg/kg., quedando pendientes revisiones posteriores de la información científica que apoyan una concentración alta.

Cuadro B-59: Resultados de los Análisis Químicos (As, Se, Hg, C, H, N, PCB)

No. de Muestra	Elementos Analizados							Prop. C/N	PCB (mg/kg)
	As (mg/kg)	Se (mg/kg)	Hg (mg/kg)	C (% peso)	H (% peso)	N (% peso)			
1-1	0.28	0.12	0.18	8	1.7	0.1	80	N.D.	
1-2	0.26	0.03	0.41	13	2.2	0.1	13	N.D.	
1-3	0.27	0.08	0.11	11	1.9	0.1	11	N.D.	
2-1	0.20	0.07	0.41	13	2.2	0.06	217	N.D.	
2-2	0.26	0.07	14	12	2.0	0.03	400	N.D.	
2-3	0.12	0.13	5.8	9	1.6	0.12	75	N.D.	
3-1	0.22	0.05	0.34	10	1.8	0.53	19	N.D.	
3-2	0.17	0.05	1.0	10	1.7	0.28	37	N.D.	
3-3	0.17	0.07	0.18	6	1.1	0.11	55	N.D.	
4-1	0.18	0.03	0.32	12	2.2	0.15	80	N.D.	
4-2	0.27	0.05	0.42	13	2.0	0.42	31	N.D.	
4-3	0.34	0.07	0.58	6	1.5	0.07	86	N.D.	
5-1	0.12	0.04	0.12	10	1.9	0.10	100	N.D.	
5-2	0.19	0.06	0.19	13	2.1	0.22	59	N.D.	

5-3	0.15	0.08	0.54	4	0.9	0.12	33	N.D.
6-1	0.25	0.13	0.22	19	2.8	0.50	38	N.D.
6-2	0.18	0.03	68	12	2.1	0.03	400	N.D.
6-3	0.16	0.04	0.7	5	1.3	0.16	31	N.D.
Promedio de las 18 muestras	0.21	0.07	5.20	-	-	-	98	N.D.
<b>Límite de contaminantes aplicados a la tierra de la US-EPA</b>								
Tope límite de concentración (mg/kg)	75	100	57	-	-	-	-	-
Límite de concentración de contaminante de "alta calidad" (mg/kg)	41	36	17	-	-	-	-	-
Proporción anual de carga de contaminantes (kg/ha/día)	2.00	5.00	0.85	-	-	-	-	-

Nota: N.D.: No detecta

La muestra y el parámetro cuya concentración está por encima del límite permisible está sombreada.

## B.6.4 Hallazgos

### B.6.4.1 Capa Superficial/Intermedia/Inferior

#### a. Peso Volumétrico

Si se compara el peso volumétrico de las capas superficial, intermedia e inferior, se encuentra que la capa superficial tiene un peso volumétrico de aproximadamente **1.1 ton/m<sup>3</sup>**, y las capa intermedia e inferior tienen un peso volumétrico de cerca de **1.8 ton/m<sup>3</sup>**. Esto muestra que debido al hecho de que la parte superficial descompone más lentamente los residuos enterrados ahí, su peso volumétrico se aproxima a la de los residuos enterrados (que normalmente se calcula en **0.8 ton/m<sup>3</sup>**).

Por otra parte, se estima que ya que las capas intermedia e inferior se encuentran debajo del manto freático, se lleva a cabo la descomposición anaeróbica, la cual eleva su peso volumétrico hasta **1.8 ton/m<sup>3</sup>**.

#### b. Composición Física

##### b.1 Materiales Combustibles

Comparando la proporción de los materiales combustibles de las capas superficial, intermedia e inferior, se observa que los **combustibles materiales** representan en promedio **29.8%**, **17.6%** y **14.5%** en las capas superficial, intermedia e inferior, respectivamente. Se muestra que debido a que la capa superficial descompone lentamente los residuos ahí enterrados, la proporción de materiales combustibles en la capa superficial es más grande que la de las capas intermedia e inferior.

Por otro lado, se calcula que ya que las capas intermedia e inferior se encuentran debajo del manto freático, se lleva a cabo la descomposición anaeróbica de los materiales combustibles para reducir la proporción de los mismos y convertirlos en material para el suelo.

##### b.2 Material del Suelo

Si se compara la proporción de los materiales del suelo de las capas superficial, intermedia e inferior, se observa que los **materiales del suelo** representan en promedio **48.6%**, **51.6%** y **56.6%** en las capas superficial, intermedia e inferior, respectivamente. Se muestra que debido a que la capa superficial descompone

lentamente los residuos ahí enterrados, la proporción de materiales del suelo en la capa superficial es más grande que la de las capas intermedia e inferior.

Por otro lado, se calcula que ya que las capas intermedia e inferior se encuentran debajo del manto freático, se lleva a cabo la descomposición anaeróbica de los materiales combustibles para reducir la proporción de los mismos y convertirlos en material para el suelo.

### **b.3 Materiales no Degradables**

Si se compara la proporción de los materiales no degradables (como los metales, el vidrio y los plásticos) de las capas superficial, intermedia e inferior, se observa que estos materiales representan en promedio 21.7%, 30.9 y 28.9% en las capas superficial, intermedia e inferior, respectivamente. Se muestra que la proporción de materiales no degradables en la capa superficial es menor que en la capa intermedia e inferior. Se estima que ya que las capas intermedia e inferior se encuentran debajo del manto freático, se lleva a cabo la descomposición anaeróbica de los materiales combustibles para convertirlos en agua, gases y materia para el suelo, lo cual en consecuencia reduce la proporción de los materiales combustibles y aumenta la proporción de materiales no degradables en las capas intermedia e inferior.

## **B.6.4.2 Antigua/Intermedia/Nueva (Etapa I, II y III)**

### **a. Composición Física**

#### **a.1 Materiales Combustibles**

Comparando la proporción de materiales combustibles de la Etapa I, II y III, se encuentra que los materiales combustibles representan en promedio 16.5%, 23.4% y 21.9% en la Etapa I, II y III respectivamente. Se observa que debido a que la Etapa I tarda en descomponer más los materiales combustibles, estos últimos en la Etapa I son menos que en la Etapa II o III, las cuales descomponen los materiales en menos tiempo en comparación con la Etapa I.

#### **a.2 Materiales no Degradables**

Si se compara la proporción de materiales no degradables de la Etapa I, II y III, se encuentra que los materiales no degradables representan en promedio 34.0%, 26.1% y 21.4% en la Etapa I, II y III respectivamente. Se observa que los materiales no degradables en las celdas más viejas (Etapa I) son más que en las celdas de edad media (Etapa II) y que en celdas más nuevas (Etapa III). Se estima que las celdas más antiguas tardan más en descomponer los materiales combustibles. Se lleva a cabo la descomposición para convertir los materiales combustibles en agua (H<sub>2</sub>O), gases de relleno (CH<sub>4</sub>, etc.) y en material para el suelo, lo cual a su vez reduce la proporción del contenido de materiales combustibles y paralelamente aumenta la proporción de materiales no degradables en celdas más antiguas.

## **B.6.4.3 Estabilización del Relleno**

En virtud de que los resultados obtenidos anteriormente muestran que la capa superficial o las partes del relleno recién aplicadas se descomponen lentamente, se sugiere que la recirculación de los lixiviados acelerará la descomposición de los residuos enterrados y posteriormente estabilizará el relleno.

## B.6.5 Conclusión

En general, el reuso del relleno tiene los dos objetivos siguientes:

- recuperación de subproductos y
- recuperación de espacio.

Por otra parte, la extracción del relleno enfrentaría el problema de

- volver a disponer los materiales rechazados del reuso del relleno.

### a. Recuperación de Subproductos

La recuperación de subproductos puede referirse a lo siguiente:

- recuperación de los **materiales valiosos** (como los metales) o
- la recuperación de los **materiales del suelo** (como composta, tierra para la cubierta de relleno).

#### a.1 Recuperación de los Materiales Valiosos

La investigación reveló que la proporción de materiales valiosos en los residuos sepultados es substancialmente pequeña (por ejemplo, el aluminio y el hierro que se recuperaron en la investigación fue menor a 2% del total). Por lo tanto, se puede concluir que la recuperación de los materiales valiosos (como los metales) a partir de la extracción del relleno **no es factible** ni debe practicarse, si se analiza lo siguiente:

- las obras de excavación del relleno son costosas, en la búsqueda de aluminio y hierro y debido a que hay que volver a disponer de los materiales rechazados, y
- las tareas de reciclaje para el aluminio y el hierro las llevan a cabo actualmente los ciudadanos, los recolectores y los trabajadores de las P/S en el DF.

#### a.2 Recuperación de los Materiales del Suelo

La investigación reveló que la proporción de materiales del suelo en los residuos sepultados es substancialmente grande (la tierra y el lodo representan más de 50% del total).

Los **análisis de laboratorio** de las muestras revelaron lo siguiente (ver Cuadro B-58 y Cuadro B-59):

- El promedio de 18 muestras se encuentra dentro del nivel de concentración permisible en cada parámetro para la aplicación y uso agrícola. Para 7 de 11 parámetros (Cd, Cr, Ni, Pb, As, Se, PCB), las 18 muestras se encuentran dentro de los niveles permisibles. Para el resto de los 4 parámetros (Cu, Mo, Zn, Hg) sólo una muestra de 18 excede el nivel permisible. El nivel de contaminación de los materiales del suelo en los rellenos se encuentra dentro del rango permitido para su uso agrícola.
- Respecto al pH, todas las muestras tienen un rango de 7 a 9. El suelo puede usarse para la agricultura en virtud de su acidez o alcalinidad.
- Respecto a la proporción C/N, tiene un amplio rango de 11 a 400, siendo su promedio de 100. Se piensa que el contenido de carbono de las muestras con una proporción elevada de C/N todavía pueden descomponerse con más tiempo.

Por otra parte, para ajustar la proporción C/N a un nivel apropiado, quizás sea necesaria la aplicación de nitrógeno.

Se necesitará discutir si los materiales recuperables del suelo de los rellenos en el DF pueden utilizarse para la agricultura o únicamente para usos no agrícolas.

### a.3 Materiales del suelo para Uso Agrícola o No Agrícola

El reglamento US-EPA (Sewage Sludge Use and Disposal Regulations: Part 503 Standards) especifica que:

- si el fango cumple con los límites de concentración de metales de "alta calidad", se puede aplicar a la tierra, siempre y cuando la proporción de aplicación no exceda los "niveles de carga de contaminantes anuales".

Por lo tanto, los "niveles de carga de contaminantes anuales" (kg./hab./día) pueden restringir la cantidad de la aplicación agrícola, en virtud del tamaño del terreno al que se le van a aplicar los materiales del suelo a partir del reuso del relleno.

Incluso si se utiliza excremento o abono para la aplicación de nitrógeno y así ajustar la proporción C/N, es necesario tomar otras medidas para controlar el nivel bacteriológico (el nivel de coliformes fecales). De lo contrario, los materiales del suelo con un nivel bacteriológico alto (más de 1,000 coliformes fecales por gramo) también estarán sujetos a la restricción sobre el uso agrícola de la siguiente manera (Sewage Sludge Use and Disposal Regulations: Part 503 Standards):

- los cultivos de alimentos que les sea aplicado el fango no pueden ser cosechados durante un período de 14 a 38 meses posteriores, dependiendo del tipo de cultivo cosechado y el método de aplicación.
- los pastizales que les sea aplicado el fango no pueden ser utilizados para pastoreo durante 30 días.
- las áreas con césped no pueden ser segadas durante 12 meses después de la aplicación.
- los terrenos públicos que les sea aplicado el fango tendrán el acceso restringido durante 30 días en áreas de baja exposición y hasta un año en áreas de alta exposición.

En consecuencia, debido a la calidad de las muestras, los materiales del suelo provenientes del "reuso del relleno" pueden ser utilizados para propósitos agrícolas bajo condiciones tales como los "niveles de carga de contaminantes anuales" (kg./hab./día) y el "nivel bacteriológico". Por otro lado, será necesario el costo adicional de los análisis de laboratorio para las muestras del suelo, para poder verificar que tal tierra es segura para utilizarla en propósitos agrícolas.

Por otra parte, en el caso de usos no agrícolas, "los materiales del suelo extraído del relleno" pueden utilizarse de la siguiente manera:

- cubierta para el relleno y
- acondicionador de la tierra para una zona no boscosa sin huertos o una vegetación sin pastoreo.

Sin el costo de los análisis de laboratorio.

#### a.4 Control del Olor de los Materiales del Suelo

Una desventaja mayor de los materiales del suelo de "reuso del relleno" es el olor penetrante, el cual se percibió durante los trabajos de investigación en campo. Ya que la descomposición de los materiales en el relleno se lleva a cabo en condiciones anaeróbicas, los materiales del suelo extraídos de nueva cuenta a través de la "extracción del relleno" tienen un olor penetrante. Por lo tanto, se necesitan algunas medidas (tales como el aireado) para reducir estos olores de los materiales recuperados del reuso del relleno, después de separar los materiales rechazados (como el plástico) y antes de aplicar composta o tierra de cubierta para el relleno.

#### b. Recuperación de Espacio

Tal y como se mencionó arriba, la proporción de los materiales del suelo en los residuos sepultados es primordialmente grande (la tierra y el lodo representan más de 50% del total). Por lo tanto, si se extraen los materiales del suelo para utilizarlo en otros propósitos (como cubierta para relleno o acondicionador del suelo para las áreas verdes), se podría recuperar hasta 50% de espacio.

En teoría, si se comparan los valores económicos de espacio recuperados de

- Bordo Poniente Etapa I, II y III (rellenos antiguos sin membrana impermeable)
- Bordo Poniente Etapa IV y V (nuevos rellenos con membrana impermeable)

el espacio recuperado en los rellenos con membrana impermeable tendrá un valor mucho mayor que el de los rellenos sin membrana impermeable.

Esto se debe a que si se utiliza en el futuro un espacio recuperado en la Etapa I, II o III para relleno, se tendría que instalar una nueva membrana inferior impermeable (Etapa I, II, III) para poder cumplir con las normas ambientales actuales. Por otro lado, si se recupera espacio en la Etapa IV y V para utilizarlo en el futuro para relleno, el espacio recobrado tiene ventajas económicas ya que está exento del costo de la impermeabilización, pues ya existe el recubrimiento debajo del espacio recuperado.

#### c. Re - disposición de otros Productos

Por otra parte, después de que se han recuperado los materiales del suelo, otros productos rechazados como el plástico deben ser eliminados. Se anticipa que los costos adicionales para la re - disposición de estos materiales serán altos.

### B.6.6 Recomendaciones y Notas de Conclusión

En virtud de las conclusiones enlistadas anteriormente, el "reuso del relleno" actualmente no es recomendable. Sin embargo, en el futuro (posiblemente después del año meta 2010 establecido en el estudio) puede volverse funcional y factible.

Los posibles escenarios en el futuro pueden ser los siguientes:

- Si se introduce una instalación para el compostaje en hileras como el Nuevo Tratamiento Intermedio para el DF en el futuro, tal y como lo propone uno de los proyectos del E/F, esta planta puede ser utilizada paralelamente por la operación de la extracción de relleno para el proceso de aireado de los materiales del suelo, para poder eliminar los olores penetrantes. Otra

posibilidad en el futuro es que la extracción del relleno se convirtiera en una función auxiliar de la producción de composta en hileras.

- La preparación de disposición separada de únicamente residuos orgánicos a partir de ahora podría ser otro escenario posible, para reducir el costo posible de la re - disposición de los materiales rechazados en el reuso del relleno.
- Si en el futuro los costos del relleno son más altos que ahora, esto ocasionará que la tecnología para el reuso del relleno se haga más factible debido a los méritos de la recuperación de espacio.

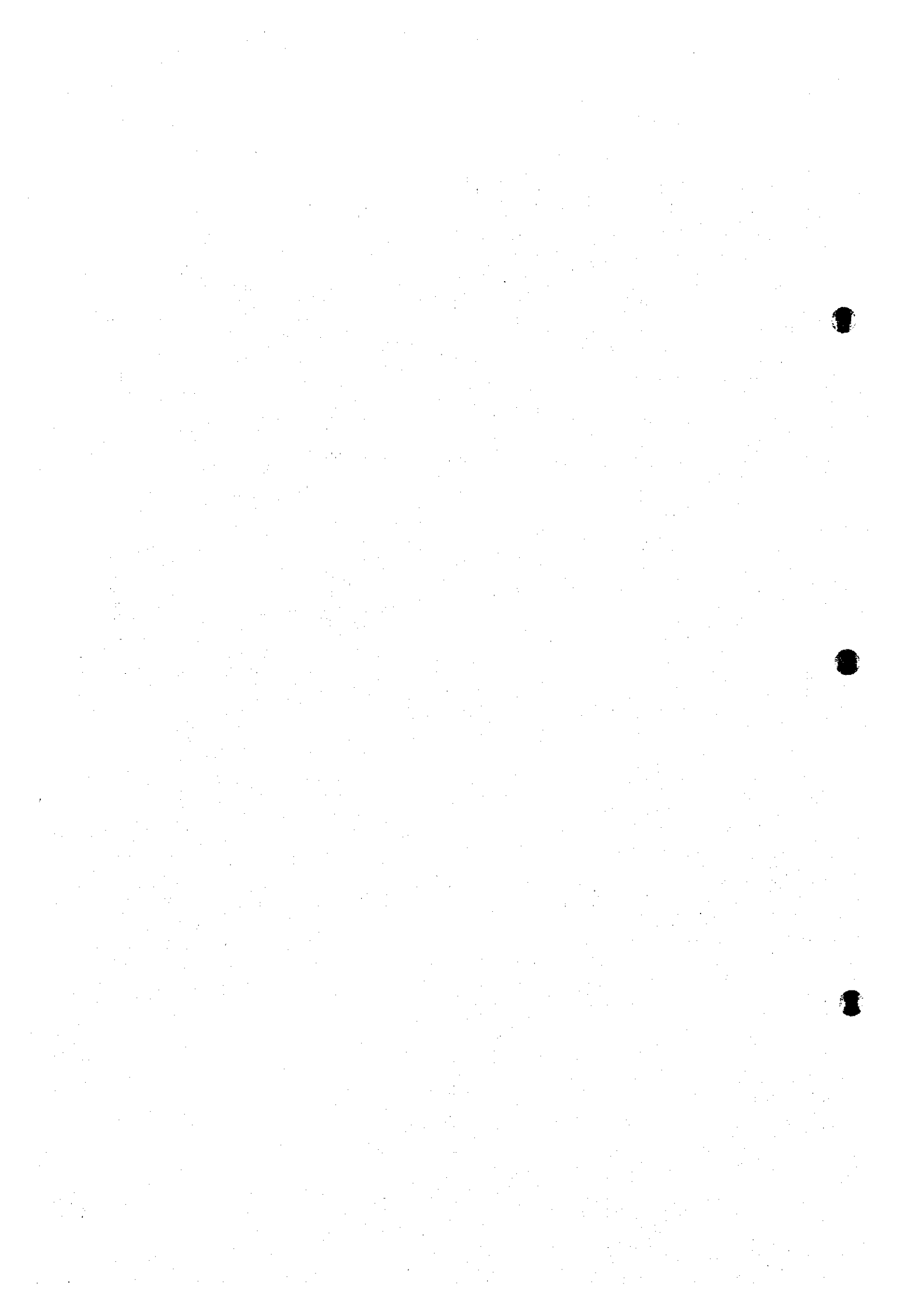


# Anexo C

---

---

## *Situación Actual del Manejo de Residuos Sólidos*



## Índice

	Página
<b>C Situación Actual del Manejo de Residuos Sólidos</b>	<b>C-1</b>
C.1 Historia del Manejo de Residuos Sólidos .....	C-1
C.1.1 Historia de la Recolección y Tratamiento.....	C-1
C.1.2 Tratamiento y Disposición Final.....	C-2
C.2 Flujo de Residuos.....	C-4
C.2.1 Introducción.....	C-4
C.2.2 Composición de los Residuos y Tasa de Generación .....	C-7
C.2.3 Recopilación de Datos para el Análisis del Flujo de Residuos.....	C-10
C.2.4 Análisis del Flujo de Residuos .....	C-11
C.3 Sistema Técnico .....	C-11
C.3.1 Sistema de Descarga y Almacenamiento .....	C-11
C.3.2 Sistema de recolección y transporte.....	C-13
C.3.3 Sistema de Procesamiento, Tratamiento y Reciclaje .....	C-24
C.3.4 Sistema de Barrido en Calles.....	C-31
C.3.5 Sistema de Disposición Final.....	C-33
C.3.6 Manejo de los Residuos Hospitalarios.....	C-39
C.4 Aspectos Sociales.....	C-44
C.4.1 Almacenamiento y Entrega para la Recolección .....	C-44
C.4.2 Sistema de Recolección y Transporte .....	C-48
C.4.3 Plantas de Selección de Materiales .....	C-51
C.5 Sistema Institucional, Organizativo y Financiero .....	C-55
C.5.1 Sistema Institucional de Manejo de los Residuos Sólidos.....	C-55
C.5.2 Sistema Organizacional de Manejo de los Residuos .....	C-68
C.5.3 Sistema Financiero.....	C-76
C.6 Evaluación de las Condiciones Actuales y Confirmación de Temas Clave.....	C-82
C.6.1 Sistema Técnico.....	C-82
C.6.2 Sistema Institucional.....	C-87
C.6.3 Aspectos Sociales .....	C-96
C.6.4 Sistema Organizacional .....	C-105
C.6.5 Determinación del Costo - Costo Unitario del Manejo de Desechos Sólidos en el DF, 1998 .....	C-106

## Lista de Tablas

	Página
Cuadro C-1: Composición de los Residuos .....	C-8
Cuadro C-2: Generación Unitaria .....	C-9
Cuadro C-3: Fuentes de los Datos .....	C-10
Cuadro C-4: Número de Vehículos de Recolección .....	C-15
Cuadro C-5: Años de Adquisición de los Vehículos de Recolección Actuales.....	C-16
Cuadro C-6: Número de Vehículos en Condiciones de Trabajar por Delegación ...	C-17
Cuadro C-7: Capacidad de recolección (por viaje) de la flota de vehículos en condiciones de trabajar .....	C-17
Cuadro C-8: Viajes Diarios en Promedio .....	C-18
Cuadro C-9: Generalidades de las Estaciones de Transferencia .....	C-19
Cuadro C-10: Cantidades Transferidas .....	C-21
Cuadro C-11: Distancia desde el punto de Origen al Destino .....	C-22
Cuadro C-12: Asignación de Trailers .....	C-23
Cuadro C-13: Número de viajes (Caja de 70m <sup>3</sup> , enero/98 a mayo/98 ).....	C-23
Cuadro C-14: Composición de los Residuos de las Pruebas de Incineración.....	C-25
Cuadro C-15: Comparación de las Pruebas de Incineración y de los Límites Proyectados de Emisiones.....	C-26
Cuadro C-16: Proyecto de Límite de Emisiones para el Nuevo Incinerador de Residuos Sólidos.....	C-26
Cuadro C-17: Calidad de la Composta .....	C-27
Cuadro C-18: Rasgos Generales de las P/S .....	C-28
Cuadro C-19: Cantidad recuperada anual y proporciones en 1997.....	C-29
Cuadro C-20: Desglose de los Materiales Recuperados en 1997 .....	C-30
Cuadro C-21: Costo de Operación y Mantenimiento en 1997.....	C-30
Cuadro C-22: Costo de Operación y Mantenimiento Calculado en 1996.....	C-31
Cuadro C-23: Cantidad Generada de Residuos que se Barren en la Red Vial Primaria .....	C-32
Cuadro C-24: Cantidad Generada de Residuos en las Áreas Verdes.....	C-32
Cuadro C-25: Estructura de relleno de BP IV y SC.....	C-35
Cuadro C-26: Operación de Rellenado de BP IV y SC .....	C-35
Cuadro C-27: Manejo de Mitigación del Relleno de BP IV y SC.....	C-37
Cuadro C-28: Manejo Precautorio del Relleno de BP IV y SC.....	C-38
Cuadro C-29: Manejo Activo del Relleno de BP IV y SC.....	C-38
Cuadro C-30: Jerarquización Jurídica del Marco Regulatorio Ambiental en materia de Residuos Peligrosos .....	C-41
Cuadro C-31: Proporción de Generación de Residuos Hospitalarios de las Instituciones Médicas del GDF.....	C-42
Cuadro C-32: Número de factores de Generación de Residuos.....	C-43
Cuadro C-33: Cantidad diaria de Residuos Generados.....	C-43
Cuadro C-34: Programa de Separación de Residuos Sólidos: Cantidades Generadas Durante el Año 1998 <sup>(1)</sup> .....	C-46
Cuadro C-35: Ingresos Mensuales de los Barrenderos .....	C-49
Cuadro C-36: Ingresos Mensuales Percibidos por el Conductor, los Ayudantes y los "Voluntarios" .....	C-50
Cuadro C-37: Atención en Consulta Externa Según Causa en Pepenadores de Residuos Sólidos (%).- DF 1995 .....	C-53

Cuadro C-38: Marco Regulatorio Ambiental .....	C-56
Cuadro C-39: Competencias para el Manejo de RS Municipales en el DF .....	C-66
Cuadro C-40: Relaciones Informales .....	C-68
Cuadro C-41: Resultados del Experimento de Recolección Separada .....	C-82
Cuadro C-42: Conclusiones de Aspectos Sociales: Fortalezas y Puntos Críticos en el M.R.S. en el DF .....	C-103

### Lista de Figuras

	Página
Figura C-1: Tratamiento y Disposición en los Últimos 15 años .....	C-3
Figura C-2: Flujo Actual de Residuos .....	C-5
Figura C-3: Sectores y Sub - Sectores de la Fuentes de Residuos .....	C-7
Figura C-4: Flujo de Residuos en 1997 .....	C-11
Figura C-5: Sistema de Recolección y Transporte Actual .....	C-13
Figura C-6: Nuevo Sistema de Recolección y Transporte .....	C-13
Figura C-7: Mapa de Localización de las Estaciones de Transferencia .....	C-20
Figura C-8: Estructura del Relleno en Bordo Poniente Etapa IV .....	C-33
Figura C-9: Estructura del Relleno en el Sitio de Santa Catarina .....	C-35
Figura C-10: Esquema Normativo Institucional referente al Control de Residuos Peligrosos .....	C-58
Figura C-11: Esquema Normativo Institucional referente al Control de Residuos Municipales .....	C-58
Figura C-12: Estructura Orgánica del GDF, Señalando las Instancias Responsables del Manejo de Residuos .....	69
Figura C-13: Estructura Orgánica de la Secretaría de Obras y Servicios .....	C-70
Figura C-14: Estructura Orgánica del DGSU .....	C-70
Figura C-15: Estructuras de Delegaciones: Ejemplo - Delegación Benito Juárez ...	C-71
Figura C-16: Estructuras de Delegaciones: Ejemplo - Delegación Cuauhtemoc .....	C-71
Figura C-17: Estructuras de Delegaciones: Ejemplo - Delegación Miguel Hidalgo .....	C-72
Figura C-18: Estructuras de Delegaciones: Ejemplo - Delegación Álvaro Obregón .....	C-72
Figura C-19: Estructura Funcional del Manejo de Residuos Municipales, en el DF .....	C-73
Figura C-20: Estructura Funcional del Manejo de Residuos Peligrosos, en el DF .....	C-73
Figura C-21: Estructura Resumida del Sindicato Único de Trabajadores del GDF, con énfasis en la Sección No. 1 .....	C-74
Figura C-22: Estructura Simplificada Funcional del Servicio de Recolección de Residuos Sólidos .....	C-74
Figura C-23: Estructura Simplificada Funcional de una Estación de Transferencia .....	C-75
Figura C-24: Estructura Simplificada Funcional de una Planta de Segregación de Reciclables .....	C-75
Figura C-25: Estructura Simplificada Funcional del Relleno Sanitario de Bordo Poniente .....	C-76
Figura C-26: Costo Unitario del Manejo de Residuos Sólidos (1) .....	C-112
Figura C-27: Costo Unitario del Manejo de Residuos Sólidos (2) .....	C-113



## **C Situación Actual del Manejo de Residuos Sólidos**

### **C.1 Historia del Manejo de Residuos Sólidos**

#### **C.1.1 Historia de la Recolección y Tratamiento**

A fines del siglo XIX se confirió el servicio de limpia a los inspectores de policías; para tal encargo se les otorgaron mulas y carros de limpia y se establecieron ordenamientos sobre los sitios donde se ubicarían los basureros.

Las bases de apoyo del gobierno del país fueron las organizaciones de trabajadores; así pues, en 1930 y en 1934 se formó el Sindicato Único de Trabajadores del Distrito Federal, con 1,600 afiliados.

En 1941 se promulgó el Primer Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal con el que se trabajó hasta 1988. En 1941, el personal de limpia estaba constituido por 2,137 empleados y se trasladaban a los tiraderos entre 600 y 800 toneladas de basura diaria.

En este mismo año por acuerdo presidencial se otorgó a una empresa privada la concesión de la explotación e industrialización de la basura, destinándose los beneficios al mejoramiento de esta industria.

En 1946 la Oficina de Limpia se responsabilizó del barrido y la recolección de basura en las calles.

En 1972 por acuerdo del entonces Jefe del Departamento del Distrito Federal, se realiza la descentralización de los servicios de limpia y recolección por lo que las delegaciones se responsabilizan del barrido manual y mecánico, así como de la recolección de basura domiciliaria. La Oficina de Limpia y Transporte se convierte en la Oficina de Sistemas de Recolección y Tratamiento de Basura. Antes de 1972 la limpieza y recolección en las 16 delegaciones políticas eran coordinadas por una oficina de Limpia y Recolección y a partir de esa fecha fueron divididas en rutas y sectores delegacionales.

En 1973 se inicia la construcción de estaciones de transferencia en el Distrito Federal, siendo la primera la de la delegación Miguel Hidalgo.

En 1976 la Oficina de Recolección y Tratamiento de Basura pasa a formar parte de la nueva Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU), convirtiéndose en un organismo de apoyo a las oficinas de limpia y transporte de las delegaciones. En 1977 se descentralizan las funciones de la DGSU, por lo que ésta desaparece.

En 1984 vuelve a conformarse la DGSU, entonces se da impulso y se fortalece el sistema de transferencia, mediante la adquisición de equipamiento y la construcción de nuevas instalaciones. Se inicia también el programa de recolección nocturna de tiraderos clandestinos, y también los programas de limpieza en vialidades principales, así como la recolección especializada en unidades médicas, clínicas y parques recreativos.

A pesar de que los residuos a recolectarse se han quintuplicado desde 1950, cuando aproximadamente 3.96 millones de habitantes producían alrededor de 2,000 ton/día, los cambios que se han hecho en recolección han sido mínimos.

Desde entonces, algunas delegaciones han realizado diversos intentos para modificar las rutas de recolección; encaminados a que se efectúen paradas fijas con horarios de recolección. Estos esfuerzos no han fructificado, ya que los choferes deciden sus propias rutas de recolección y la distribución de las ganancias por propinas y/o venta de materiales, y no desean coadyuvar en esta mecánica.

### **C.1.2 Tratamiento y Disposición Final**

La historia moderna del sistema de tratamiento y disposición final en el DF se encuentra resumida en la Figura C-1. Tal y como sugiere la misma, el período que inicia desde la década de los 80 se puede dividir en tres.

El primer período fue en 1985, cuando no existía un control racional en el manejo de residuos sólidos (MRS), los desperdicios se arrojaban en tiraderos a cielo abierto y la gente llevaba a cabo simultáneamente la pepena. El excesivo impacto ambiental de tales tiraderos obligó a las autoridades a tomar acciones decididas, entre las cuales se puede mencionar el cierre del sitio de Santa Cruz Meyehualco.

Hubo un cambio en 1985, cuando la DGSU llevó a cabo una evaluación de cada tiradero que existía. Como resultado, se encontró que la mayor parte de los tiraderos eran inaceptables para el equilibrio ambiental y la salud humana, por lo que finalmente fueron cerrados. Posteriormente, se llevaron a cabo obras de limpieza y forestación a la mayor parte de los sitios cerrados en 1988. Por otra parte, se abrió un nuevo sitio de disposición final en Bordo Poniente, donde además se introdujo la operación de un relleno sanitario. En consecuencia, los años que siguen hasta el inicio de la década de los 90 pueden considerarse como un período durante el cual empezó a tomar forma de manera adecuada el MRS.

El tercer período corresponde de los años más recientes hasta la fecha. Se caracteriza por las actividades que realiza la DGSU para modernizar y mejorar su sistema del MRS y hacerlo más favorable para el ambiente. Para estos propósitos, la DGSU trata de introducir metodologías técnicas tales como el tratamiento intermedio y la recuperación de recursos de manera sistemática. De hecho, la necesidad de estos esfuerzos puede darse por sentada, ya que la cantidad de residuos generados es enorme y la ciudad de México tiene un nivel de urbanización tan alto que existe una demanda muy fuerte de MRS eficiente y avanzado.



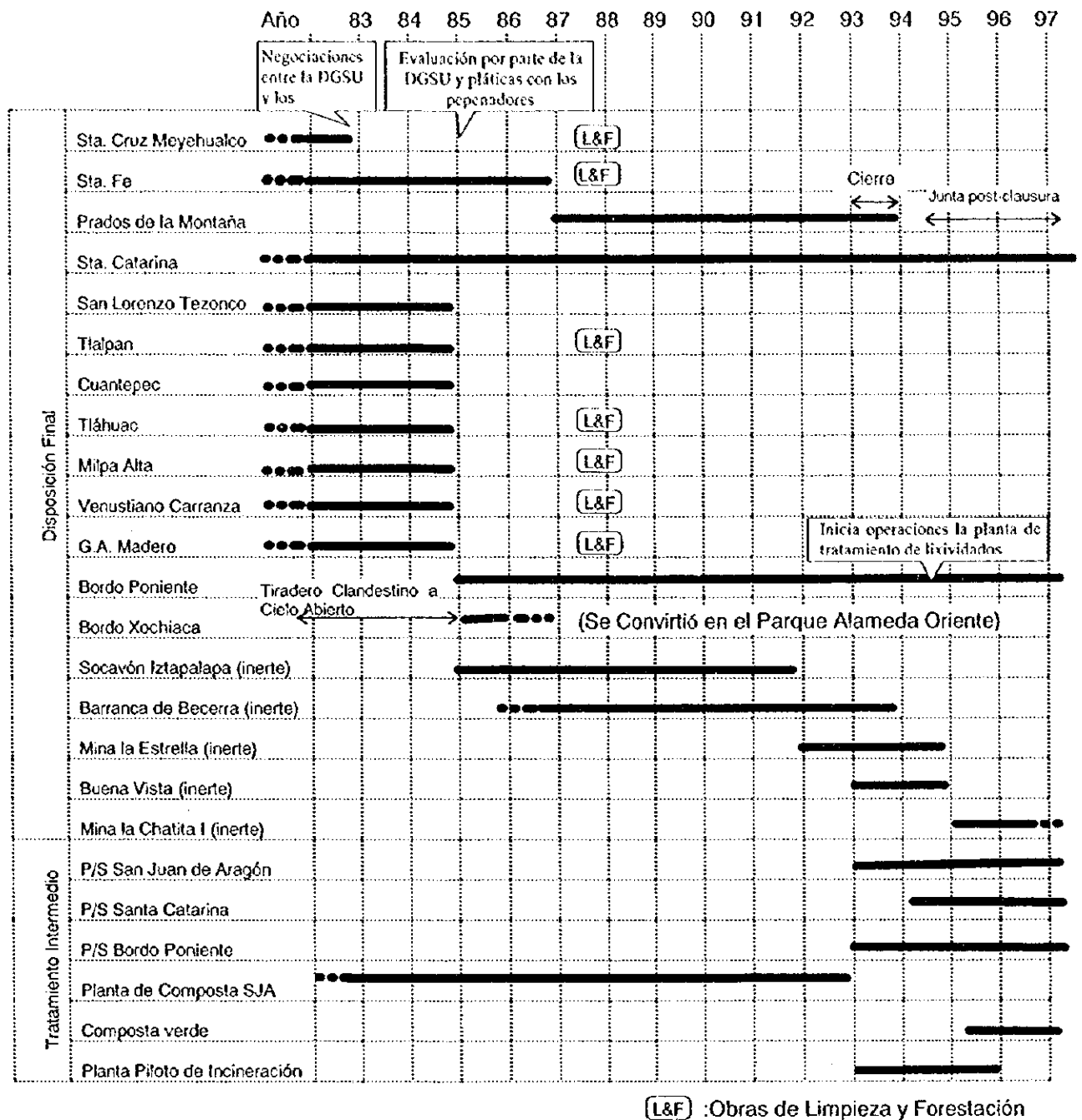


Figura C-1: Tratamiento y Disposición en los Últimos 15 años

## C.2 Flujo de Residuos

### C.2.1 Introducción

#### a. Delineamiento del Flujo de Residuos

Existen varias características del flujo de los residuos sólidos en el DF:

1. Las delegaciones recolectan los residuos en la fuente y los transportan a las estaciones de transferencia, las Plantas de Selección (P/S) o directamente a los sitios de disposición final, mientras que la DGSU transporta los residuos de las estaciones de transferencia a las P/S o sitios de disposición final, y el desecho de las P/S a los sitios de disposición final.
2. Los residuos que son recolectados por la iniciativa privada siguen las mismas rutas que los recolectados por las delegaciones.
3. En las P/S que maneja la DGSU, se recuperan los materiales reciclables comercializables en la ciudad y sus alrededores y los que no se transportan posteriormente a los sitios de disposición final.
4. Los residuos generados por los hospitales del DF son recolectados por la iniciativa privada. Los residuos domésticos se llevan directamente a los sitios de disposición final, mientras que los residuos biológico - infecciosos son desinfectados primero y luego transportados a los sitios de disposición final a celdas especializadas, y los residuos altamente infecciosos son incinerados.
5. La DGSU recolecta los residuos de tiraderos clandestinos en el DF y los lleva a los sitios de disposición final. Por lo general se encuentran tiraderos clandestinos en los siguientes lugares:
  - Cruce de calles y avenidas.
  - Lotes baldíos.
  - Barrancas.
  - Valles.

Debe observarse que debido a que no existen muchos ríos o canales de drenaje abiertos.

6. La auto - disposición de los residuos en los hogares, fundamentalmente en zonas semi - rurales, se realiza mediante la quema, entierro y una mínima parte se destina a la composta.
7. Se practica pre - prepa durante el proceso de recolección y tratamiento intermedio. Los materiales que más se recuperan incluyen chácharas, chatarra y las latas de aluminio, cartón, papel y plásticos. La recuperación de estos materiales la realizan las siguientes personas:
  - La recolección de residuos por parte del personal recolector.
  - Los barrenderos en sus tambos móviles.
  - Los ex - pepenadores.

Si se toman en cuenta estas características, se muestra entonces el flujo de los residuos en la Figura C-2.

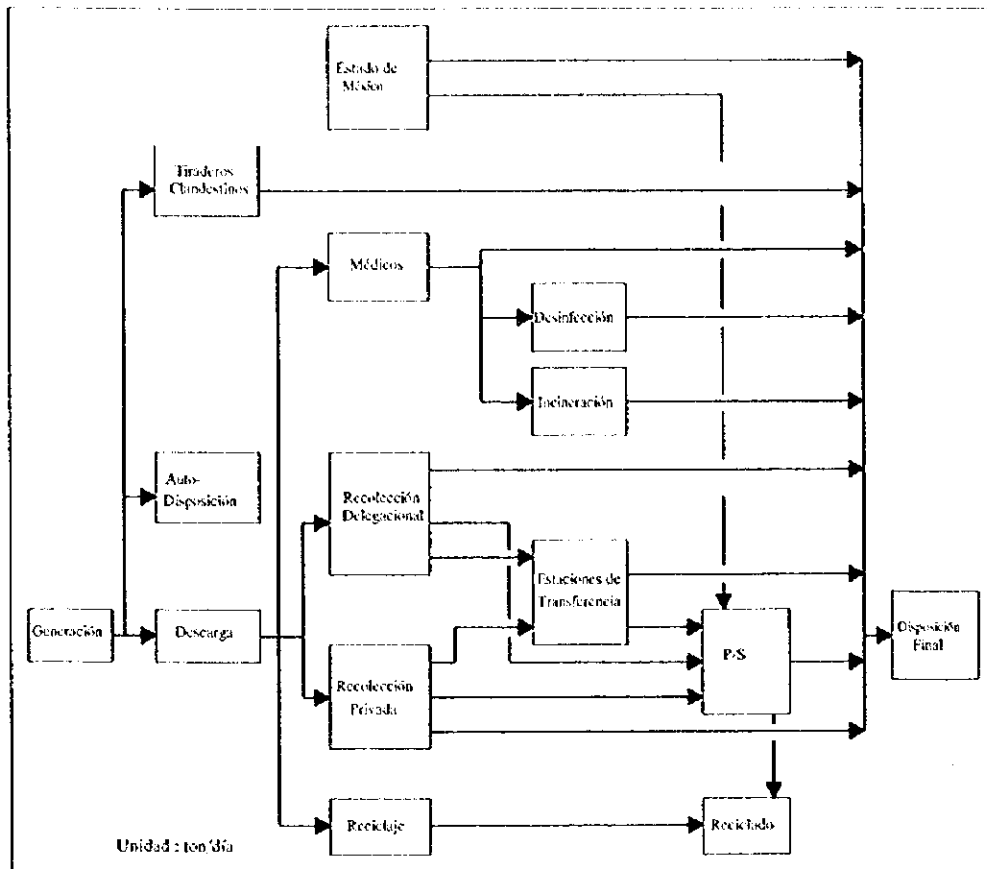


Figura C-2: Flujo Actual de Residuos

### b. Terminología para el Flujo de Residuos

Se muestra a continuación la terminología específica para el Flujo de Residuos de la Figura C-2.

- **Generación**

La “generación” de residuos es la cantidad producida de residuos.

- **Residuos en tiraderos clandestinos**

Los “tiraderos clandestinos” son los residuos que se depositan en lugares donde no deberían ser abandonados.

- **Auto - disposición**

Son los residuos que se generan en los hogares y allí mismo eliminan a través de ciertos procesos como la quema, entierro o elaboración de composta en zonas rurales.

- **Recolección por parte de las delegaciones**

Es la recolección de residuos de domicilios, servicios y comercios recolectados por las delegaciones del DF.

- Recolección por parte de la Iniciativa Privada

Es la cantidad de residuos recolectados por empresas privadas.

- Reciclaje

Residuos que son pre - pepenados durante el proceso de recolección o recuperados en las P/S.

- Estación de Transferencia

Es una instalación en la que se transfieren los residuos recolectados en camiones para este fin, tanto de la delegación como de empresas a un vehículo para transporte de residuos con capacidad de 70 m<sup>3</sup>.

Actualmente existen 13 estaciones de transferencia en el DF. Su forma de operación varía: seis de ellas están a cargo únicamente de la DGSU, una por la delegación y seis son responsabilidad tanto de las delegaciones como de la DGSU.

- P/S

Una "P/S" es una instalación en la que se recuperan materiales aprovechables de los residuos recolectados.

- Disposición Final

El sitio de "disposición final" es un sitio donde se depositan los residuos recolectados y los desechos que provienen de las P/S.

- El Estado de México

Una parte importante de los residuos generados en 11 municipios de la zona conurbana del Estado de México son transportados a los sitios de disposición final que opera la DGSU. Los residuos provienen principalmente de los siguientes municipios:

- Atenco
- Chalco
- Chiautla
- Chinconcuac
- Cuautitlán Izcalli
- Ecatepec
- Ixtapaluca
- Nezahualcóyotl
- La Paz
- Texcoco
- Valle de Chalco

## C.2.2 Composición de los Residuos y Tasa de Generación

### a. Composición de los Residuos

La DGSU ha estado investigando la composición de los residuos generados en cinco sectores y 19 sub - sectores del DF, como muestra la Figura C-3. Los residuos se clasifican en 35 tipos y los datos obtenidos se utilizan para el control del MRS.

Por lo tanto, el presente estudio muestra la misma clasificación de residuos que la DGSU.

El Cuadro C-1 es el resultado de la investigación de la composición de los residuos por parte de la DGSU.

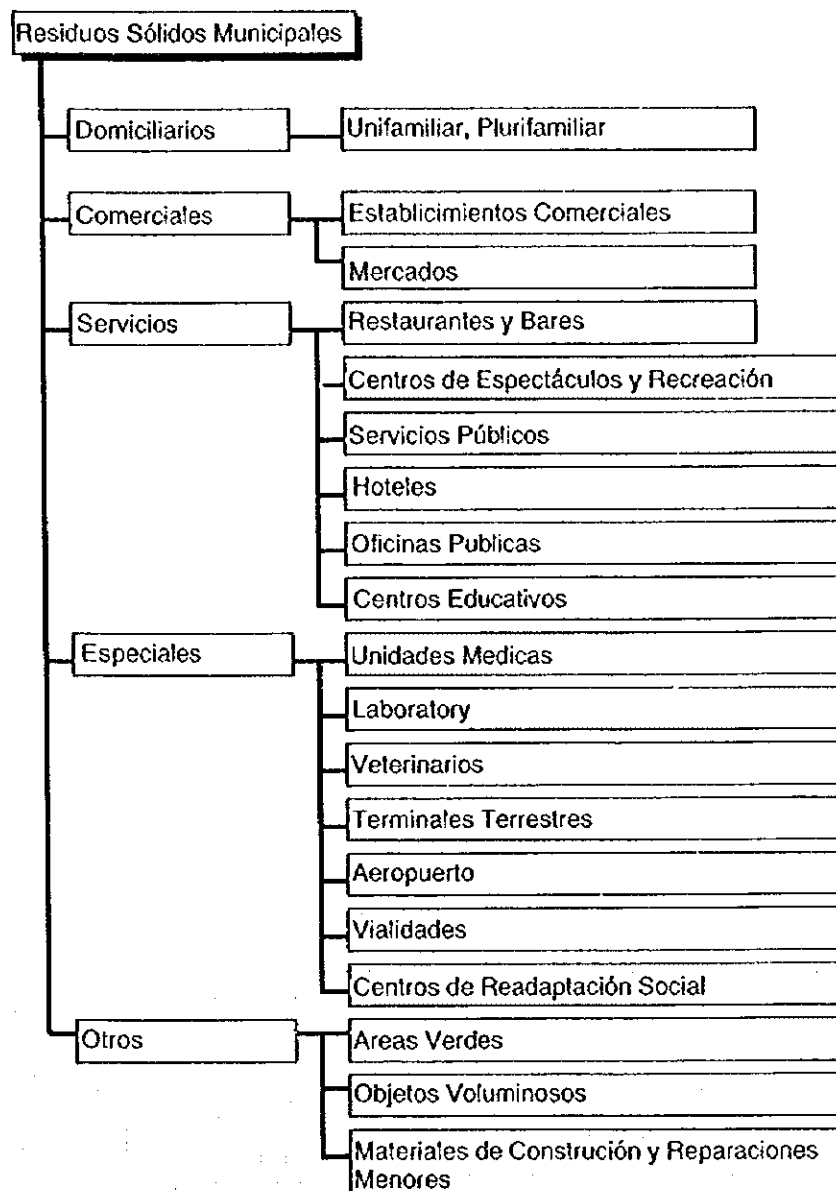


Figura C-3: Sectores y Sub - Sectores de la Fuentes de Residuos

Cuadro C-1: Composición de los Residuos

Subproductos	Domésticos		Comercios		Servicios		Otros				Total										
	Unifamiliar y Plurifam.	Establecim. comerciales	Exhibicim. comerciales	MercaDOS	Restaurantes y bares	Centros de esportáculo y recreación	Servicios públicos	Hotels	Otras. públicas	Centros educativos		Unidades móviles	Laboratorios	Veterinarios	Terminales terrestres	Terminal aérea	Vialidades	Centros de readaptación social	Áreas verdes	Objetos voluminosos	Nat. de Const. Rep. Menores
1 Abateleaguas	2.15	0.07	0.83	5.29	0.38	0.03	1.97	10.38	5.57	4.34	5.31	3.66	5.06	4.00						0.03	
2 Algodón	5.36	0.11	1.97	2.22	3.69	0.76	0.17	8.98	11.20	3.77	0.04	8.20	8.01	2.56	5.31	3.66	5.06	4.00		1.30	
3 Cartón	0.11	1.97	2.22	2.63	1.13	0.08	0.04	6.05	0.78	0.78	0.01	1.07	0.20	0.69	6.53	0.10	0.52	3.12		6.68	
4 Cuero	0.06	1.79	2.63	0.89	0.01	0.01	0.24	3.10	5.74	3.77	0.38	5.94	0.38	0.67	0.10					0.11	
5 Envasos de cartón	1.43	0.29	0.89	1.11	0.21	0.18	0.67	1.33	2.07	2.80	1.31	1.38	2.31	4.82	3.17	4.77				1.91	
6 Fibra dura veg.				0.16	0.36	0.18	0.83	0.28	0.08	4.89	2.01	1.75	2.31	0.29						0.69	
7 Fibra sintética					6.72	2.89	1.79	0.15	0.40	1.90	0.07	1.18	1.31	0.29						0.85	
8 Gasa					0.71	1.79	0.15	0.40	1.90	0.07	1.18	1.31	1.31	1.24						0.05	
9 Hueso	0.08	0.44	1.11	0.16	0.36	0.18	0.83	0.28	0.08	4.89	2.01	1.75	2.31	0.29						0.27	
10 Hule	0.20	1.07	0.16	0.16	3.10	0.52	0.18	0.83	0.28	0.08	4.89	2.01	1.75	2.31						0.37	
11 Jeringa desechable					6.72	2.89	1.79	0.15	0.40	1.90	0.07	1.18	1.31	0.29						0.04	
12 Latas	1.58	0.31	1.47	0.09	0.12	1.17	0.82	0.09	0.56	5.65	0.92	3.57	3.17	9.59	4.65					1.24	
13 Loza y cerámica	0.37	0.12	0.09	1.17	0.82	0.09	0.56	0.92	3.57	3.17	9.59	4.65	0.09	0.56						0.30	
14 Madera	0.10	1.20	1.17	0.82	0.09	0.56	0.92	3.57	3.17	9.59	4.65	0.09	0.56							1.24	
15 Mat. de construc.	0.63	2.59	0.07	0.07	0.71	1.79	0.15	0.40	1.90	0.07	1.18	1.31	1.31	0.29						2.14	
16 Material ferroso	1.39	0.51	1.87	0.09	0.12	1.17	0.82	0.09	0.56	5.65	0.92	3.57	3.17	9.59	4.65					2.56	
17 Mat. no ferroso	0.06	5.31	1.87	0.09	0.12	1.17	0.82	0.09	0.56	5.65	0.92	3.57	3.17	9.59	4.65					0.49	
18 Papel bond	1.19	5.95	4.54	4.27	4.20	8.16	1.99	10.72	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30						4.41	
19 Papel periódico	4.61	8.78	1.94	4.27	4.20	8.16	1.99	10.72	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30						4.96	
20 Papel sanitario	8.78	1.94	4.27	4.27	4.20	8.16	1.99	10.72	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30						5.89	
21 Pañal desechable	3.37	0.14	0.07	0.07	0.71	1.79	0.15	0.40	1.90	0.07	1.18	1.31	1.31	0.29						1.62	
22 Placa radiológica	6.24	5.38	1.30	3.08	2.14	3.58	0.16	1.95	3.27	1.95	3.27	1.95	3.27	1.95						0.00	
23 Plásticos de película	4.33	3.94	2.96	1.26	1.39	1.69	0.88	2.69	0.97	8.64	1.63	9.88	20.64	6.07						4.53	
24 Plástico rígido	0.16	0.11	0.08	0.03	2.70	1.85	0.16	0.11	0.46	16.02	6.32	1.30	1.89	1.61						3.49	
25 Poliestireno	0.78	0.12	0.46	0.35	1.85	0.16	0.11	0.46	1.70	2.27	1.06	1.74	3.31	30.44						0.16	
26 Poliuretano expand.	34.66	38.75	63.08	74.43	5.71	43.23	21.22	16.02	6.32	1.30	1.89	1.61	1.61	1.61						0.58	
27 Residuo alimenticio	5.12	0.15	0.05	0.08	0.59	3.66	0.30	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63						37.70	
28 Residuo de					1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14						3.18	
29 Toalla sanitaria	0.64	0.20	0.20	0.12	2.81	3.09	0.26	2.44	4.86	8.07	8.64	0.42	2.00	3.00						0.04	
30 Tropa					1.53	2.82	0.03	2.75	0.03	2.75	0.03	2.75	0.03	2.75						1.22	
31 Vendax	4.00	1.77	0.30	1.53	1.28	8.52	0.76	4.66	5.63	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43						0.01	
32 Vidrio de color	6.77	5.18	0.44	2.82	1.28	8.52	0.76	4.66	5.63	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43						2.62	
33 Vidrio transparente	1.21	0.07	3.97	0.03	2.75	0.03	2.75	0.03	2.75	0.03	2.75	0.03	2.75	0.03						4.61	
34 Residuo fino	2.66	8.97	0.25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03						1.71	
35 Otros																					3.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

## b. Tasa de Generación

Se muestra en el Cuadro C-2 la tasa de Generación en cada fuente. Este estudio fue realizado por la DGSU. El presente trabajo utilizará la misma proporción de generación.

Cuadro C-2: Generación Unitaria

Tipos de Fuente Generadoras	Subclasificación	Generación Unitaria de Residuos Sólidos
Domiciliarios	Unifamiliar, Plurifamiliar	0.616 kg/Habitante/Día
Comerciales	Establecimientos Comerciales	
	- Tiendas de Autoservicio	637.000 kg/Establecimiento/Día
	- Tiendas Departamentales	368.000 kg/Establecimiento/Día
	- Locales Comerciales	6.650 kg/Local/Día
	Mercados	
	- Carnes	4.430 kg/Local/Día
	- Frutas y Legumbres	7.920 kg/Local/Día
	- Abarrotes	1.025 kg/Local/Día
	- Preparación de Alimentos	14.960 kg/Local/Día
	- Varios	0.803 kg/Local/Día
- Mercado Sobre Ruedas-Tianguis	575.800 kg/Tianguis/Día	
Servicios	Restaurantes y Bares	25.442 kg/Establecimiento/Día
	Centros de Espectáculos y Recreación	
	- Centros de Espectáculos	1.230 kg/Empleado/Día
	- Instalaciones Deportivas	2.620 kg/Empleado/Día
	- Centros Culturales	0.330 kg/Empleado/Día
	Servicios Públicos	
	- Oficinas de Servicios	3.460 kg/Establecimiento/Día
	- Servicios de Reparación y Mantenimiento	1.940 kg/Establecimiento/Día
	- Estaciones de Gasolina	53.120 kg/Establecimiento/Día
	Hoteles	
	- 5 Estrellas	1,016.900 kg/Establecimiento/Día
	- 4 Estrellas	218.500 kg/Establecimiento/Día
	- 3 Estrellas	16.810 kg/Establecimiento/Día
	Centros Educativos	
	- Preescolar	0.040 kg/Alumno/Día
	- Primaria	0.055 kg/Alumno/Día
	- Capacitación Para el Trabajo	0.060 kg/Alumno/Día
	- Secundaria	0.065 kg/Alumno/Día
	- Técnico	0.060 kg/Alumno/Día
	- Bachillerato	0.060 kg/Alumno/Día
- Superior	0.070 kg/Alumno/Día	
- Oficinas Públicas	0.413 kg/Empleado/Día	
Especiales	Unidades Médicas	
	- 1er. Nivel	1.279 kg/Consultorio/Día
	- 2do. Nivel	4.730 kg/Cama/Día
	- 3er. Nivel	5.390 kg/Cama/Día
	Laboratorios	6.340 kg/Laboratorio/Día
	Veterinarias	1.700 kg/Empleado/Día
	Terminales Terrestres	2,103.000 kg/Central/Día
	Terminal Aérea	28,887.000 kg/Aeropuerto/Día
	Vialidades	125.530 kg/km/Día
	Centros de Readaptación Social	0.540 kg/Interno/Día
Otros	- Áreas Verdes	0.00993 kg/m <sup>2</sup> /Día
	- Objetos Voluminosos	28.850 kg/Ton-Residuos Sólidos/Día
	- Materiales de Construcción	
	- y Reparaciones Menores	20.850 kg/Ton-Residuos Sólidos/Día

### C.2.3 Recopilación de Datos para el Análisis del Flujo de Residuos

Para poder obtener la cantidad de residuos, se describe a continuación la información que se utilizó para esto. Debe observarse que cuando se calcularon las cantidades de residuos transportadas y manejadas, se utilizaron el número de días hábiles de cada instalación, para que así la cantidad de residuos se pudiera expresar en toneladas por días.

#### a. Cantidad de Generación

El estudio<sup>1</sup> de la generación que realizó la DGSU en 1997 se basó en los resultados de la investigación de la proporción generada de residuos, en la población y en el número de establecimientos por delegación. El presente trabajo utilizó básicamente el estudio de la DGSU, con algunas correcciones en ciertos conceptos.

#### b. Reciclaje en las P/S y Cantidad de Disposición Final

Se obtuvieron los datos correspondientes a las P/S y a los sitios de disposición final de los materiales que se muestran en el siguiente Cuadro.

Cuadro C-3: Fuentes de los Datos

		Período	Compañía
Dispos. Final	Bordo Poniente	Enero - Abril 1998	Ingeniería Sistemas y Tecnología Ambiental S.A. de C.V.
	Santa Catarina	Enero - Mayo 1998	Grupo Promotor De Ingeniería S.C.
P/S	Bordo Poniente	Enero - Julio 1998	Puntal S.A. de C.V.
	San Juan de Aragón	Enero - Julio 1998	Impulsora de Desarrollo Integral S.A. de C.V.
	Santa Catarina	Enero - Julio 1998	Planes y Análisis S.A. de C.V.

#### c. Residuos Manejados en Estaciones de Transferencia

Las referencias del cuadro anterior también proporcionaron datos respecto a las estaciones de transferencia.

#### d. Cantidades por Parte de las Delegaciones y de la Recolección Privada

También se hace referencia a los datos de la recolección de residuos por parte de las delegaciones y las empresas privadas (Cuadro C-3).

#### e. Tiraderos Clandestinos

También se encontró referencia de la cantidad de residuos de los tiraderos clandestinos (Cuadro C-3).

#### f. Cantidad de Residuos Hospitalarios

Se utilizó el estudio de la DGSU acerca de la generación de residuos hospitalarios.

#### g. Cantidad de Residuos del Estado de México

Las referencias del cuadro Cuadro C-3 y el estudio de la DGSU acerca de la generación de residuos proporcionaron información para definir la cantidad de residuos que ingresan del Estado de México.

<sup>1</sup> Ingreso Promedio Diario en Sitios de Disposición Final y Plantas de Selección durante 1997.



## C.2.4 Análisis del Flujo de Residuos

Se calculó y resumió la cantidad de residuos de cada componente para determinar el flujo de residuos según se muestra en la Figura C-4.

Se reveló que los residuos generados en el DF en 1997 totalizaron 11,422 ton/día y que los residuos del Estado de México fueron de 777 ton/día. Se reciclaron 1,929 ton. de residuos diariamente y se dispusieron 10,276 ton/día.

Respecto a la recolección de residuos, la DGSU recolectó 8,867 ton/día de residuos, mientras que el sector privado recolectó 912 ton/día. Se llevaron 8,558 ton/día de residuos del total de esos dos conceptos a las estaciones de transferencia, antes de dirigirse a los sitios de disposición final.

Las P/S recibieron 4,913 ton de residuos por día, de las cuales 496 ton. fueron recuperadas.

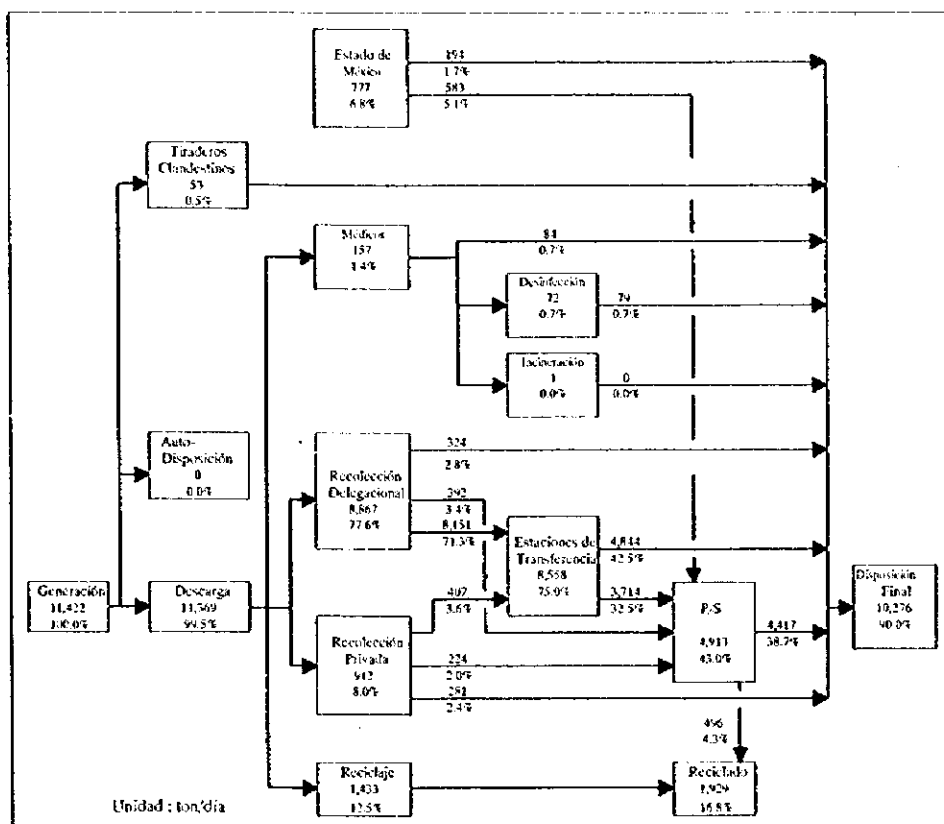


Figura C-4: Flujo de Residuos en 1997

## C.3 Sistema Técnico

### C.3.1 Sistema de Descarga y Almacenamiento

El almacenamiento apropiado de los residuos, tiene como objetivo principal, preservar sanitariamente los residuos desde el momento en que se generan, hasta su recolección. Los factores que afectan el almacenamiento en la Ciudad de México, son los siguientes:

- Generación de residuos

- Características de los residuos (humedad, materia orgánica, peso volumétrico, etc.)
- Frecuencia y método de recolección
- Equipos y métodos utilizados para el resguardo de los residuos

#### a. Almacenamiento en Casas Habitación

Existe una clara correlación entre el tipo de almacenamiento domiciliario que se utiliza y el nivel socioeconómico del usuario.

De tal forma que en los barrios y colonias populares, los recipientes para almacenamiento de residuos, difícilmente cumplen con las características sanitarias que demanda este tipo de equipamiento, como son su fácil maniobrabilidad, capacidad adecuada, hermeticidad, limpieza fácil y ligera; de hecho, es común observar el uso de costales, canastos, carretillas, cajas y todo tipo de recipientes inadecuados para el almacenamiento de la basura.

En cambio, en estratos socioeconómicos con mayor poder adquisitivo, se le da mayor atención al recipiente utilizado para almacenar los residuos, por lo que se utilizan recipientes de plástico con tapa, con capacidad adecuada, para almacenar hasta por dos días la basura, fabricados expresamente para dicha función, utilizando bolsas plásticas en su interior, para desalojar la basura con mayor comodidad e higiene. Por lo regular, estos recipientes presentan las siguientes características:

- Fáciles de limpiar
- Con agarradera y tapa ajustada
- De rápido vaciado
- Ligeros y resistentes
- Difícilmente se oxidan o se deforman
- Con buena imagen

El depósito de los residuos dentro de los recipientes de almacenamiento, invariablemente se hace en forma manual por los propios generadores; o bien, por las empleadas domésticas, quienes también son las responsables de entregar los residuos al servicio de recolección o a los barrenderos.

Así mismo, para una mayor facilidad en el momento en que se deben entregar los residuos a los recolectores, se utilizan dentro de los recipientes, bolsas de plástico de diferentes tipos, calibres, características y colores. Todas estas operaciones, se hacen en forma manual.

#### b. Almacenamiento en otras Fuentes

En áreas e instalaciones de gran generación, es muy común el empleo de contenedores metálicos o cualquier otro material, de grandes dimensiones, pudiendo ser móviles o estacionarios. Sus volúmenes varían normalmente de 1 a 3 m<sup>3</sup> de capacidad, aunque existen otros de dimensiones mucho mayores, de hasta 6 m<sup>3</sup>. Su manejo requiere de vehículos especializados y en ocasiones, de mucha sofisticación. Los sistemas de carga de estos contenedores, pueden ser mecánicos, hidráulicos, neumáticos, predominando los sistemas hidráulicos.

Por lo que respecta al sistema de carga, éste puede ser frontal, lateral o trasero, utilizándose con mayor frecuencia el de carga lateral en la Ciudad de México.

Según la experiencia en la Ciudad de México, la utilización de contenedores en lugares de gran generación, como son mercados, hoteles, comercios, industrias y unidades habitacionales, reduce substancialmente los costos operacionales de recolección, ya que los tiempos de maniobra de carga disminuyen notablemente y el vehículo alcanza a efectuar más viajes en un turno normal de labores.

En algunos sitios de gran generación, sobre todo en multifamiliares y centros existen, aunque no con mucha frecuencia, el uso de ductos verticales, compactadores y ocasionalmente molinos de basura; dispositivos que por lo regular encarecen el servicio y ofrecen muy pocos beneficios, ya que el proceso de adaptación del usuario al uso de estos equipos, siempre conlleva un rechazo natural y una mayor atención por parte del usuario, que no siempre está dispuesto a conceder; amén de que estos mecanismos demandan mantenimiento que a su vez lleva asociado un costo; el cual por lo regular, no se considera cuando se toma la decisión de adquirirlos.

### C.3.2 Sistema de recolección y transporte

La recolección de los residuos municipales generados es responsabilidad de las delegaciones correspondientes, y la mayor parte de éstos son entregados por la Sección 1 a las estaciones de transferencia que maneja la DGSU (con la excepción de los residuos que son llevados directamente por las delegaciones a los sitios de disposición final o Plantas de Selección (P/S), debido a la cercanía).

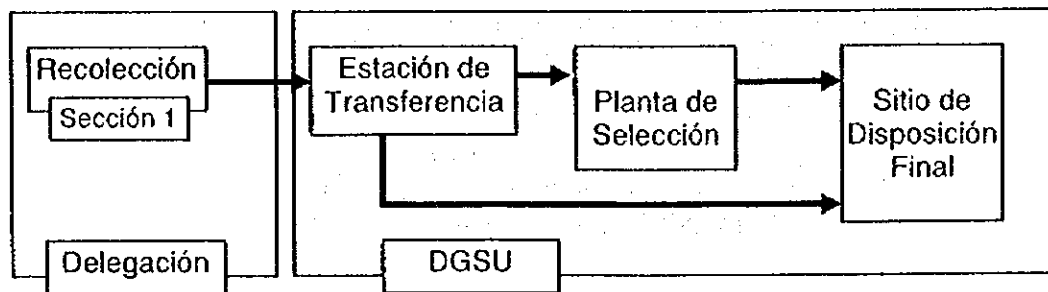


Figura C-5: Sistema de Recolección y Transporte Actual

Sin embargo, en julio de 1998, el GDF y la Sección 1 firmaron un acuerdo por medio del cual la Sección 1 retiraría su servicio de recolección de los mercados, escuelas primarias, conjuntos habitacionales públicos y parques a partir de enero de 1999. Se decidió en octubre de 1998 que las delegaciones estarán a cargo de emplear a sectores privados por medio de contratos para la recolección de residuos de esas instituciones públicas (conocidas a partir de ahora como "Sub - sistemas").

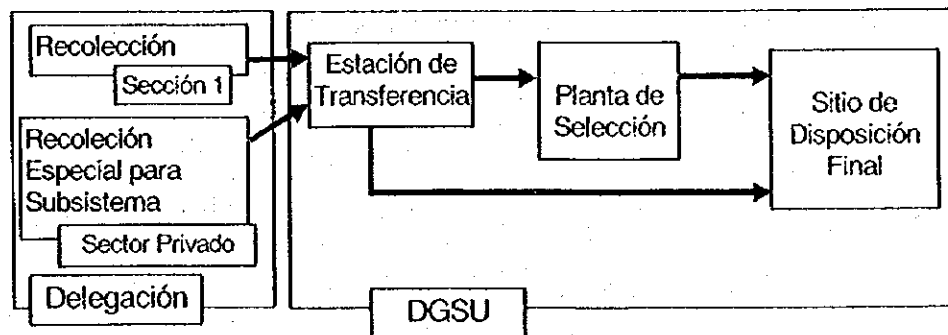


Figura C-6: Nuevo Sistema de Recolección y Transporte

Los residuos que se llevan a las estaciones de transferencia pasan, después de ser revisados de manera visual, a alguno de los siguientes puntos:

- Plantas de Selección.
- Sitios de disposición final.

Se utilizan trailers con capacidad de 70m<sup>3</sup> para transportar los residuos de la estación de transferencia a alguno de los dos destinos mencionados.

### C.3.2.1 Sistema de Recolección

#### a. Método de Recolección

Por lo que se refiere a los métodos de recolección, se puede decir que persiste hasta nuestros días todavía con mucha popularidad, el método de esquina (con campana), aunque también existe el intradomiciliario, el de acera, el de puerta por puerta y el de parada fija.

Los métodos de recolección puerta por puerta y de parada fija sin contenedores, son una variante o un híbrido de los métodos anteriores; y de hecho, representan una deformación o degradación de los métodos de recolección tradicionales, ya que son llevados a cabo por el personal de barrido, que cumple ciertas funciones de "recolector agregado", al servicio de recolección tradicional, los cuales se han hecho muy populares en los últimos años; amén de que permiten y soportan la negociación extraoficial entre el usuario y los operadores, para conciliar el monto de las propinas.

Los barrenderos comienzan su jornada a partir de las cinco de la mañana, aunque su horario oficial es de 7:00 a 15:00. De 5:00 a 7:00 barren las calles, y a partir de esa hora recogen la basura de las casas, separan los residuos más cotizables en el mercado y posteriormente los venden.

Existen barrenderos de base (basificados o con nombramiento estable) y eventuales (contratados temporalmente) dedicados a esta actividad, pagados por el Gobierno del Distrito Federal. Son aproximadamente 8,500 trabajadores.

Además, se estima en otros 3,000 los barrenderos voluntarios que realizan esta actividad; compran o rentan sus carritos y tambos para poder trabajar.

Por otra parte, se estima que la tasa de cobertura del servicio de recolección es de casi 100%, aunque no se prestan los servicios de recolección ("sobre la ruta") a las áreas con asentamientos irregulares, ya que proporcionar estos servicios acarrearía más asentamientos irregulares. Sin embargo, la recolección de residuos se lleva a cabo en estas áreas mediante un sistema de "recolección en puntos fijos".

#### b. Vehículos de Recolección

Hasta 1998, el parque vehicular de recolección estaba integrado por más de 2,000 unidades, como se muestra en el Cuadro C-4, en donde se observa que el mayor porcentaje lo constituyen los vehículos de recolección de caja rectangular que junto con los de carga tubular, ambos con mecanismo de compactación y de carga trasera, constituyen más de 50%.

Cuadro C-4: Número de Vehículos de Recolección

Tipo Delegación	Cargador Frontal	Carga Trasera	Tipo rectangular	Tipo tubular	Camión de volteo	Mini-recolector	Total
Capacidad de carga	18m <sup>3</sup> , 6.5 t	12m <sup>3</sup> , 5.0 t	12m <sup>3</sup> , 4.5t* 16m <sup>3</sup> , 4.0t	12m <sup>3</sup> , 4.5t 16m <sup>3</sup> , 4.0t	8 m <sup>3</sup> , 2.5t 16m <sup>3</sup> , 4.0t	8m <sup>3</sup> , 3.0 t	
Álvaro Obregón	4	34	31	17	52		138
Azcapotzalco	7	63	32	34	4		140
Benito Juárez	4	22	66	38	4		134
Coyoacán	5	52	34	32	5		128
Cuajimalpa		10	8	9	4	6	37
Cuauhtémoc	12	94	44	75	26		251
Gustavo A. Madero	7	56	96	76	46		281
Iztacalco	1	37	14	15	25		92
Iztapalapa	2	50	85	42	32		211
M. Contreras		12	6	3	11	29	61
Miguel Hidalgo	3	46	43	37	44		173
Milpa Alta		1			22	3	26
Tláhuac		19	8	4	16		47
Tlalpan		39	21	9	14		83
V. Carranza	8	17	73	19	38	5	160
Xochimilco	6	12	15	6	10		49
Total	59	564	576	416	353	43	2,011

Fuente: PARQUE VEHICULAR DE RECOLECCION ASIGNADO A LAS DELEGACIONES POLITICAS, Enero, 1998, DGSU

Notas : 12m<sup>3</sup>,4.5t\* son sin mecanismo de compactación, 16m<sup>3</sup>,4.0t con mecanismo de compactación

También es importante mencionar como se indica en el Cuadro C-5, que de las 2,011 unidades, 1,078 presentaban un periodo de obsolescencia de más de 15 años, lo cual en teoría, deberían haber sido sustituidos en su oportunidad, no solamente por los elevados gastos de mantenimiento que registran, sino porque tecnológicamente implican un rezago que se traduce en ineficiencia y en elevadas cargas administrativas.

Cuadro C-5: Años de Adquisición de los Vehículos de Recolección Actuales

	1965	1966	1967	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Total	
Alvaro Obregon			2	3	5	4		8	38	1	1	16						13	1			3	13	4	4	4	6	5	7	1	138	
Azacapozalco				10	3	2		8	11	3	11	28	1					7		5		6	9	2	14		14		6			140
Bonito Juarez	1			6	7	6		18	1	23	1	9	20				13				3	3	18	5	9	9	9		3			143
Cuautxucan			1	4	8	1		5	32	1	1	19					12		2	1		9	9	3	9	4	4	3	3			126
Cuatimalpa					1			1	5		5		5	2				4	1				2	1	1	4	15		3			45
Cuauhtemoc	3	1	1	19	18	5	1	26	1	26	2	31	3	3	22		34					8	12	18	2		19		3			255
Guadalupe A. Madero		2	3	10	29	6	1	11	1	77	12	33			1	1	2	7	22	7		9	11	3	11	7	1	13				280
Iztacalco			4			1		5		4	3		16		5			2				4	15	10		2	11		3			85
Iztapalapa				13	4	7		12		23	1	19	7				9					5	30	65	2		7	13				225
M. Contreras			1	1				6		2	2		5					2				3	8	2	1		6		3			42
Miguel Hidalgo		1	1	8	20	4	1	10		37		1	17		5	1	19		8			7	4	20		1	3				168	
Milpa Alta													1		3			1	1			1	6	3	6	7	7		3			32
Tlahuac							1	1	3	3		5				1	3	1	5			2	4	3	3	2	14		3			64
Tlalpan				1	3	2		6		9	1	17			4							2	13	6		2	2		4			72
V. Carranza				4	8	1		5		18	5	2	29	5								6	39	31			4					161
Xochimilco			1	2	1	1		2		7	1	13				1		2	2				7	2					3			45
Total	4	4	9	85	107	42	4	126	6	312	33	23	274	18	40	4	92	39	43	13	2	66	171	199	44	31	126	25	60	9	2,011	
															1,087																	924

Fuente: PARQUE VEHICULAR DE RECOLECCION ASIGNADO A LAS DELEGACIONES POLITICAS, Enero, 1998, DGSU

c. Número de viajes diarios

El Cuadro C-6 muestra el número de vehículos de recolección en condiciones de trabajar distribuidos en cada delegación. Por otro lado, el Cuadro C-7 muestra la capacidad nominal de carga de cada tipo de vehículo y la capacidad de recolección de los vehículos en condiciones de trabajar.

Cuadro C-6: Número de Vehículos en Condiciones de Trabajar por Delegación

	Cargador frontal	Carga trasera	Tipo rectangular	Tipo tubular	Camión de volteo	Mini-recolector	Total
Capacidad (ton/viaje)	6	5	4.5	4.5	2.5	2	
Álvaro Obregón	4	34	12	6	31		87
Azcapotzalco	7	63	15	24	3		112
Benito Juárez	4	22	46	32	3		107
Coyoacán	5	52	16	17	3		93
Cuajimalpa		10	5	3	2	6	26
Cuauhtémoc	10	90	20	23	11		154
Gustavo A. Madero	7	55	28	35	28		153
Iztacalco	1	36	11	11	19		78
Iztapalapa	2	50	65	23	19		159
M. Contreras		12	3	2	7	29	53
Miguel Hidalgo	3	46	33	23	20		125
Milpa Alta		1			21	3	25
Tláhuac		19	4	4	12		39
Tlalpan		38	11	6	10		65
V. Carranza	8	17	52	11	31	5	124
Xochimilco	6	12	5	2	9		34
Total	57	557	326	222	229	43	1,434

Fuente: PARQUE VEHICULAR DE RECOLECCION ASIGNADO A LAS DELEGACIONES POLITICAS, Enero, 1998, DGSU

Cuadro C-7: Capacidad de recolección (por viaje) de la flota de vehículos en condiciones de trabajar

	Cargador frontal	Carga trasera	Tipo rectangular	Tipo tubular	Camión de volteo	Mini-colector	Total (ton/día)
Capacidad de carga (ton/viaje)	6	5	4.5	4.5	2.5	2	
Álvaro Obregón	24	170	54	27	78	0	353
Azcapotzalco	42	315	68	108	8	0	540
Benito Juárez	24	110	207	144	8	0	493
Coyoacán	30	260	72	77	8	0	446
Cuajimalpa	0	50	23	14	5	12	103
Cuauhtémoc	60	450	90	104	28	0	731
Gustavo A. Madero	42	275	126	158	70	0	671
Iztacalco	6	180	50	50	48	0	333
Iztapalapa	12	250	293	104	48	0	706
M. Contreras	0	60	14	9	18	58	158
Miguel Hidalgo	18	230	149	104	50	0	550
Milpa Alta	0	5	0	0	53	6	64
Tláhuac	0	95	18	18	30	0	161
Tlalpan	0	190	50	27	25	0	292
V. Carranza	48	85	234	50	78	10	504
Xochimilco	36	60	23	9	23	0	150
Total	342	2,785	1,467	999	573	86	6,252

Fuente: PARQUE VEHICULAR DE RECOLECCION ASIGNADO A LAS DELEGACIONES POLITICAS, Enero, 1998, DGSU

Con base en la información anterior, los viajes diarios en promedio de los vehículos de recolección en las delegaciones se resumen en el Cuadro C-8. Se hacen en promedio por el GDF cerca de 1.7 viajes/día, con un rango de 0.9 viajes/día en Azcapotzalco a 2.8 viajes/día en Iztapalapa. 10 delegaciones hacen menos viajes que el promedio del GDF.

**Cuadro C-8: Viajes Diarios en Promedio**

	Cantidad de residuos generados en 1997 (ton/día)*	Capacidad de recolección de vehículos (ton/día)	Número de viajes
Alvaro Obregón	570	353	1.6
Azcapotzalco	498	540	0.9
Benito Juárez	613	493	1.2
Coyoacán	782	446	1.8
Cuajimalpa	135	103	1.3
Cuauhtémoc	1,221	731	1.7
Gustavo A. Madero	1,551	671	2.3
Iztacalco	444	333	1.3
Iztapalapa	1,994	706	2.8
M. Contreras	218	158	1.4
Miguel Hidalgo	647	550	1.2
Milpa Alta	73	64	1.1
Tláhuac	261	161	1.6
Tlalpan	681	292	2.3
V. Carranza	840	504	1.7
Xochimilco	347	150	2.3
Total	10,875	6,252	(valor medio) 1.7

Notas : \*sin incluir los residuos de la Central de Abastos

### C.3.2.2 Sistema de Transportación

#### a. Estación de Transferencia

Ante la necesidad de fortalecer y eficientar los servicios para el control de los residuos sólidos, es imprescindible contar con la infraestructura idónea que posibilite en el corto plazo, el mejoramiento y la uniformidad de tales servicios en todo el Distrito Federal. Parte fundamental de dicha infraestructura, son las estaciones de transferencia, y en la actualidad en la Ciudad de México existen 13 estaciones de transferencia.



Cuadro C-9: Generalidades de las Estaciones de Transferencia

unidad: m<sup>2</sup>

Nombre	Área de instalaciones*	Superficie de piso *	Áreas verdes*	Cuerpo operativo
Álvaro Obregón	8,000	7,900	3,284	DGSU
Azcapotzalco	8,900	6,607	355	Delegación / DGSU
Benito Juárez	8,804	7,380	1,877	Delegación
Coyoacán	12,187	6,798	2,067	Delegación / DGSU
Cuauhtémoc	6,974	4,420	485	Delegación / DGSU
Gustavo A. Madero	3,000	2,800	5,717	DGSU
Iztapalapa I	9,949	6,746	1,638	DGSU
Iztapalapa II	8,871	4,563	467	DGSU
Miguel Hidalgo	6,426	4,400	570	Delegación / DGSU
Miipa Alta	24,335	5,020	11,395	DGSU
Tlalpan	6,516	6,208	332	DGSU
Venustiano Carranza	8,867	7,507	1,106	Delegación / DGSU
Xochimilco	1,500	1,100	500	Delegación / DGSU

Fuente : \*MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CD. DE MÉXICO, DDF

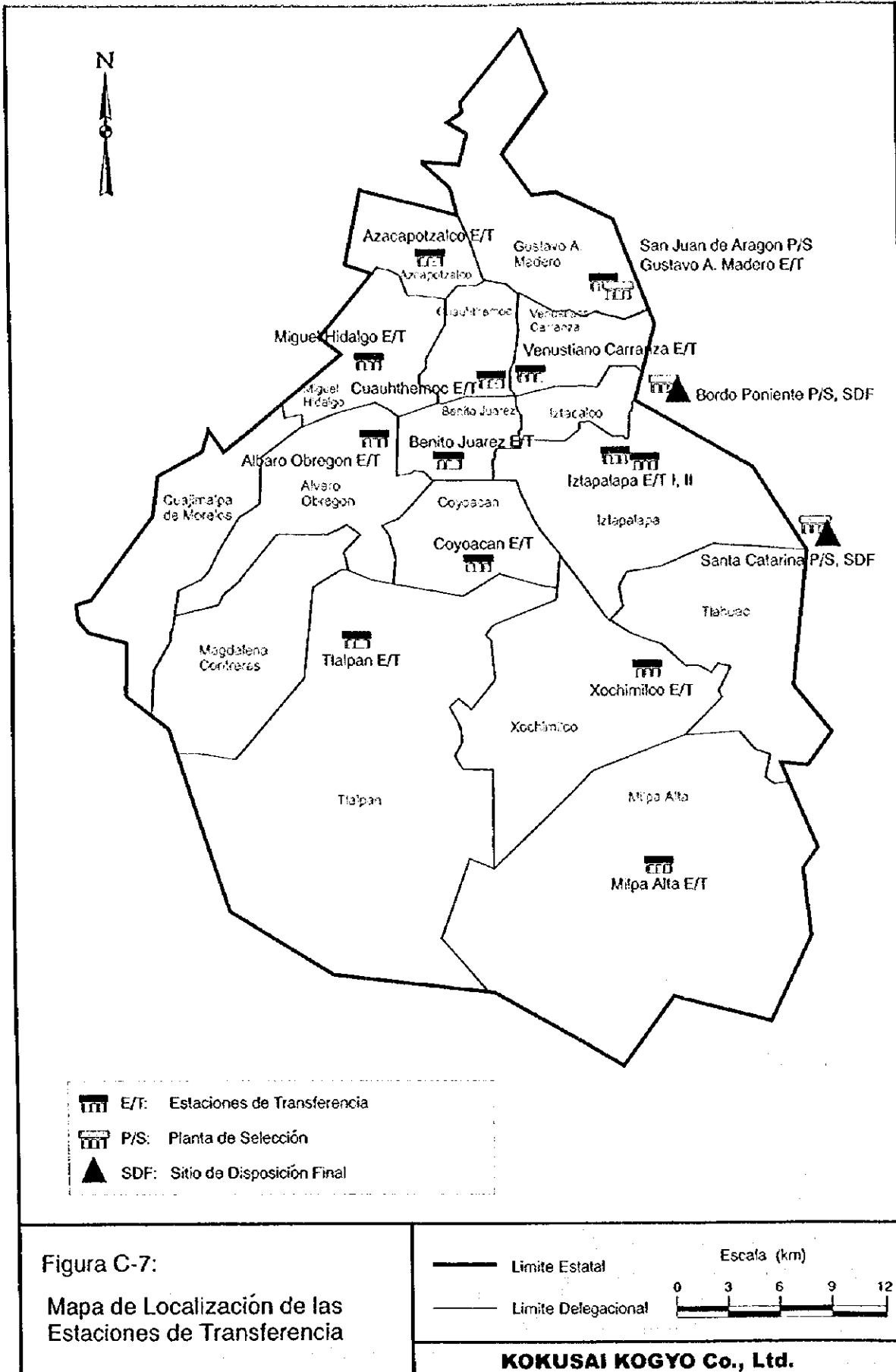
Estas estaciones fueron diseñadas y construidas tomando en cuenta criterios ecológicos para el control de ruido, polvos, partículas suspendidas entre otros. Por ello las nuevas estaciones y las ya existentes son cubiertas con paredes acústicas y sistemas hidroneumáticos para el lavado y riego, así como equipos de control de calidad ambiental interior.

Se cerró una estación de transferencia en la delegación Magdalena Contreras en febrero de 1997, debido a las siguientes razones:

- la estación de transferencia era más pequeña que las demás estaciones, y se estructuró para transferir los residuos a cajas tipo contenedor.
- los vehículos utilizados en la delegación aumentaron año con año y a la misma capacidad de las cajas contenedoras, y
- la localización de la estación de transferencia en un área de colinas disminuyó la eficiencia de la misma.

La delegación Iztapalapa cuenta con dos estaciones de transferencia; una de ellas (Iztapalapa II) maneja los residuos de la Central de Abastos exclusivamente.

Estas 13 estaciones de transferencia son manejadas por la DGSU o por una delegación, o por ambas. La operación práctica de las estaciones se otorgan por medio de contratos al sector privado.



El Cuadro C-10 muestra la cantidad transferida en cada delegación. Sin embargo, ninguna de éstas cuenta con una báscula, por lo que las cantidades que entran y salen se calculan a partir del número de vehículos registrados y de su capacidad nominal (o a partir de sondeos empíricos). No existen a la fecha datos precisos acerca de las cantidades transferidas (que entran o salen).

Cuadro C-10: Cantidades Transferidas

Nombre	Registro de Transferencia**(ton/día)
Álvaro Obregón	830
Azcapotzalco	728
Benito Juárez	no registrado
Coyoacán	1083
Cuauhtémoc	809
Gustavo A. Madero	416
Iztapalapa I	1000
Iztapalapa II	980
Miguel Hidalgo	584
Milpa Alta	49
Tlalpan	322
Venustiano Carranza	672
Xochimilco	408
Total	7,881

Fuentes : \*MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO, DDF  
\*\*Registro de operaciones de la P/S (Enero - Julio /1998), DGSU

#### b. Transporte

Los residuos sólidos municipales recolectados por las delegaciones se concentran principalmente en las 13 estaciones de transferencia y son transportadas con trailers de gran tamaño (70m<sup>3</sup>) a sus respectivos destinos (sitios de disposición final o Plantas de Selección: P/S). Como excepciones se pueden mencionar el transporte directo por parte de los vehículos recolectores debido a la cercanía con el sitio de destino. Los residuos no aprovechables de las tres P/S se vuelven a cargar en los trailers que los llevan a los sitios de disposición final. La DGSU concede estas tareas de transportación a la iniciativa privada. Los trabajos estipulados en el contrato se pagan con una tasa unitaria combinada (peso/km/ton) con base en la distancia que se recorre para transportar y el peso que se carga, de acuerdo con el Cuadro C-11. Además de los trailers de 70m<sup>3</sup>, existen otras flotillas de transporte con capacidad de 17 m<sup>3</sup>, que se utilizan exclusivamente para el transporte de escombros.

Cuadro C-11: Distancia desde el punto de Origen al Destino

(km)

Origen	Destino	Sitio de relleno		P/S		
		Bordo Poniente	Santa Catarina	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina
Est. de Transferencia	Álvaro Obregón	29.4	30.3	27.5	-	29.6
	Azcapotzalco	22.8	-	21.1	14.1	30.3
	Coyoacán	31.9	28.7	-	-	27.7
	Cuauhtémoc	19.5	23.4	17.8	-	22.5
	Gustavo A. Madero	13	-	-	-	-
	Iztapalapa I	16.3	17.8	14.7	-	16.7
	Iztapalapa II	16.1	17.6	14.5	-	16.5
	Miguel Hidalgo	32.5	-	-	23.6	-
	Milpa Alta	42.4	-	-	-	-
	Tlalpan	43.3	40.0	41.6	-	40
	Venustiano Carranza	16.6	0.0	14.9	-	0.0
	Xochimilco	35.6	17.3	34.0	-	16.6
P/S	Bordo Poniente	2.0	-	-	-	-
	San Juan de Aragón	13.0	-	-	-	-
	Santa Catarina	26.9	-	-	-	-

Los trailers de transporte que se utilizan en estas obras son propiedad de varios sectores, como se muestra a continuación:

- El tractor y la caja pertenecen al sector privado.
- El tractor pertenece al sector privado, y la caja a la DGSU.
- El tractor y la caja pertenecen a la DGSU.

Las cajas de los trailers totalizan 236 unidades, y todas cuentan con piso vivo. Cada caja que pertenece a la DGSU tiene asignadas sus estaciones de transferencia.

Por otro lado, cada tractor cuenta con un "sistema global posicionador (SGP)" que monitorea y controla el sistema total de transportación. Este sistema de monitoreo y control es manejado desde una oficina de la DGSU en la estación de transferencia de Álvaro Obregón.

Para optimizar el transporte, esta oficina puede programar a cualquier unidad de transporte (tractor y caja) a que se dirija a cualquier estación de transferencia cuando sea necesario, aunque cada caja de trailer que pertenezca a la DGSU ya tiene asignada su estación de transferencia.

Cuadro C-12: Asignación de Trailers

		Privada	DGSU		Total
			T.C.A	T.C.P	
Compañía privada		112	-	-	112
Est. de Transferencia	Álvaro Obregón	-	6	14	20
	Azcapotzalco	-	1	8	9
	Coyoacán	-	9	7	16
	Cuauhtémoc	-	-	12	12
	Gustavo A. Madero	-	-	5	5
	Iztapalapa I	-	-	11	11
	Iztapalapa II	-	5	6	11
	Miguel Hidalgo	-	5	9	14
	Milpa Alta	-	-	-	-
	Tlalpan	-	2	6	8
	Venustiano Carranza	-	1	6	7
Xochimilco	-	1	6	7	
P/S	Bordo Poniente	-	-	-	-
	San Juan de Aragón	-	1	3	4
	Santa Catarina	-	-	-	-
Total		112	31	93	236

Nota:

T.C.A: Tipo caja de cadena

T.C.P: Tipo caja de plataforma

El Cuadro C-13 muestra el registro de traslados realizados de enero a mayo de 1998. Revela que los residuos de las estaciones de transferencia de Cuauhtémoc e Iztapalapa-I se llevan principalmente a la P/S de Santa Catarina, en vez de la P/S de Bordo Poniente, que es la que se encuentra a menor distancia de ambas estaciones de transferencia.

Cuadro C-13: Número de viajes (Caja de 70m<sup>3</sup>, enero/98 a mayo/98 )

Origen	Destino	P/S				Sitio de Disposición				Total
		BP	SJA	SC	Total	BPI	BP IV	SC	Total	
Est. de Transf.	Álvaro Obregón	4,309			4,309		2,351	1	2,352	6,661
	Azcapotzalco	1,002	586	763	2,351		2,808		2,808	5,159
	Benito Juárez		3	680	683				0	683
	Coyoacán	3		4,225	4,228		855	3,351	4,206	8,434
	Cuauhtémoc			2,918	2,918		197	3,081	3,278	6,196
	Gustavo A. Madero	44			44		3,598		3,598	3,642
	Iztapalapa I	173		718	891		6,444	653	7,097	7,988
	Iztapalapa II	2,275			2,275		4,312		4,312	6,587
	Miguel Hidalgo	175	2,352		2,527		3,074		3,074	5,601
	Milpa Alta	4			4		645	2	647	651
	Tlalpan	1,064		984	2,048		190	429	619	2,667
	Venustiano Carranza	1,459			1,459		3,368	9	3,377	4,836
	Xochimilco	4		742	746		285	2,074	2,359	3,105
P/S	Bordo Poniente				0		10,185		10,185	10,185
	San Juan de Aragón				0		10,261		10,261	10,261
	Santa Catarina	2			2		9,742		9,742	9,744
Total		10,514	2,941	11,030	24,485	0	58,315	9,600	67,915	92,400

El Cuadro C-13 muestra un total de 92,400 viajes por parte de los trailers de 70 m<sup>3</sup> en este período. Un total de 103 días hábiles durante el período y el número de trailers (236) dieron un promedio diario de viajes de 3.8. Si se divide la distancia total de transportación (1,877,822 km.) entre los días hábiles y el número de trailers da como resultado una distancia diaria de transportación de aproximadamente 77 km./día.

### C.3.3 Sistema de Procesamiento, Tratamiento y Reciclaje

Respecto a las instalaciones de procesamiento, tratamiento y reciclaje en la ciudad de México, se tenía un incinerador municipal de RS y una planta de compostaje en las instalaciones de San Juan de Aragón de la DGSU, pero ya no operan actualmente. Las instalaciones que operan actualmente son las tres Plantas de Selección (P/S) en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina.

#### a. Incinerador

Se llevó a cabo una licitación para la construcción del incinerador municipal de RS en 1979. La construcción del mismo inició en 1984, se suspendió en 1986 y se completó en 1989.

Se compraron cinco unidades de incineración tipo atizador (capacidad nominal de cada unidad: 50t/24h). Dos de éstos estaban instalados en SJA y el tercero fue desmantelado rápidamente después de ser instalado, en respuesta a la objeción por parte de los ambientalistas.

Respecto a los antecedentes mencionados anteriormente, las instalaciones del incinerador en SJA operaron de febrero de 1990 a junio de 1992 como instalación piloto, con el propósito de compilar datos acerca de la tecnología de incineración. Sin embargo, ambas unidades no han operado juntas nunca, ni siquiera cuando vino un experto de Suiza para controlar la operación. Se suspendió la operación de la instalación.

La razón principal para la falla puede obtenerse de la siguiente manera:

Simplemente se importó la tecnología de incineración para secar residuos (técnica común en Europa). La magnitud de la "zona de secado" del incinerador se volvió insuficiente para los residuos húmedos de México, especialmente durante la época de lluvias. Se puede lograr a veces la incineración sin combustible adicional (gas) durante la época de sequía, mientras que por lo general se requiere de combustible para los residuos durante la temporada de lluvias. En consecuencia, no se llevó a cabo un plan de tratamiento de incineración con estas unidades.

Cuadro C-14: Composición de los Residuos de las Pruebas de Incineración

Concepto	Prueba	Prueba-1, RS Munic., 17/Jun/92	Prueba-2, RS Munic., 17/Sept/92	Prueba-3, RS Munic., 23/Sept/92	Prueba-5, RS Munic., 12/Nov/92	Prueba-7, RS Munic., 19/Nov/92	Prueba-12, RS Munic., 07/Dic/92	Valor promedio
Combustible	(%)	26.63	13.75	32.40	42.06	40.60	34.30	31.62
Humedad	(%)	41.25	77.34	52.83	42.68	46.36	42.09	42.59
Ceniza	(%)	32.51	8.40	12.76	10.38	9.51	19.32	15.48
Peso volumétrico	(g/cm <sup>3</sup> )	0.47	0.22	0.26	0.14	0.22	0.24	0.26
Valor calorífico (1)	(cal/g)	3,849	2,706	3,435	3,400	3,398	3,258	3,341
Valor calorífico (2)	(cal/g)	3,686	2,618	3,223	3,110	3,126	3,019	3,130
Valor calorífico (3)	(cal/g)	1,253	1,594	1,199	1,553	1,410	1,521	1,422
Azufre	(%)	0.37	0.15	0.16	0.05	0.14	0.26	0.19
Nitrógeno	(%)	0.93	0.45	1.10	0.67	0.54	0.82	0.75
Carbono	(%)	15.45	7.99	18.70	24.30	23.50	19.83	18.30
Hidrógeno	(%)	1.78	0.92	2.16	2.80	2.71	2.29	2.11
Cloro	(%)	0.15	0.19	-	0.56	0.28	0.30	0.30

Notes: Datos recopilados de junio a diciembre de 1992.

Valor calorífico (1): Valor calorífico lógico de la materia combustible

Valor calorífico (2): Valor calorífico medido de la materia combustible

Valor calorífico (3): Valor calorífico de los residuos (combustible, ceniza y humedad)

El Cuadro C-14 presenta la composición de los residuos para las pruebas de incineración. Las primeras tres columnas contienen datos de la temporada de lluvias. De acuerdo con este cuadro, el contenido de humedad sobre el promedio no es particularmente alto, pero el promedio durante la época de lluvias se eleva. El valor calorífico de los residuos (valor calorífico (3)) también fluctúa e incluso cae a cerca de 1,200 cal/g, que corresponde al rango de valor mínimo para la ignición espontánea (los residuos pueden quemarse por sí solos sin el uso de combustible).

Las dos unidades de incineración de SJA no han sido desmanteladas a la fecha y el equipo se ha conservado razonablemente bien a pesar del paso del tiempo. Sin embargo, si se quisieran utilizar de manera eficiente para la incineración de los residuos municipales, sería necesario dar mantenimiento apropiado y las modificaciones necesarias a los componentes mecánicos y eléctricos. Además, para poder cumplir con las nuevas normas para las emisiones (de las cuales se presentan los proyectos en el Cuadro C-15 y el Cuadro C-16), se deben reemplazar todas las estructuras de incineración (desde el ingreso de los residuos hasta su apilamiento). Sólo se pueden utilizar estructuras de construcción.

**Cuadro C-15: Comparación de las Pruebas de Incineración y de los Límites  
Proyectados de Emisiones**

		Prueba-1, MRS, 17/Jun/92	Prueba-2, MRS, 17/Sept./92	Prueba-3, MRS, 23/Sept./92	Prueba-5, MRS, 12/Nov./92	Prueba-7, MRS, 19/Nov./92	Prueba-12, MRS, 07/Dic./92	Valor promedio	Límite de Emisión
Partículas	mg/m <sup>3</sup>	400.46	123.56	95.13	190.09	13.49	100.14	153.81	30
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	288.53	n.d.	n.d.	368.84	36.40	135.95	207.43	80
CO	mg/m <sup>3</sup>	85.82	194.68	887.53	n.d.	n.d.	n.d.	389.34	63
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	148.48	3.76	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	76.12	300
HF	mg/m <sup>3</sup>	n.d.	n.d.	4.40	n.d.	n.d.	n.d.	4.40	5
HCl	mg/m <sup>3</sup>	4.98	238.15	108.82	n.d.	n.d.	n.d.	117.32	15
PCDF	mg/m <sup>3</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.00000015
PCDD	mg/m <sup>3</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	0.000035	0.000003	n.d.	0.0000190	0.00000015
Total HC	mg/m <sup>3</sup>	58.92	420.80	5.67	5.74	12.44	12.21	85.96	-
Pb	mg/m <sup>3</sup>	0.07284	0.40730	0.29135	0.43123	0.09860	1.26040	0.42695	0.7
Cu	mg/m <sup>3</sup>	0.00525	0.01467	0.01102	0.03799	0.00680	0.12030	0.03267	0.7
Cr	mg/m <sup>3</sup>	0.00663	1.26400	2.32854	0.01372	0.02930	0.01890	0.60918	0.7
Mg	mg/m <sup>3</sup>	0.0007051	0.0388000	0.3198290	0.0093210	n.d.	0.0083460	0.07540	0.7
Ni	mg/m <sup>3</sup>	0.0003234	2.5210000	1.9619400	0.0077383	0.0147900	0.0046900	0.75175	0.7
As	mg/m <sup>3</sup>	0.0004400	0.0001000	0.0002116	0.0007035	0.0002250	0.0010400	0.00045	0.7
Cd	mg/m <sup>3</sup>	0.0003205	0.0315980	0.0046200	0.0256770	0.0115700	0.0162000	0.01500	0.07
Hg	mg/m <sup>3</sup>	n.d.	0.0022500	0.0014560	0.0043967	n.d.	n.d.	0.00270	0.07
Sn	mg/m <sup>3</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.7
Ag	mg/m <sup>3</sup>	0.0000799	0.0013000	0.0009734	0.0028139	n.d.	0.0039900	0.00183	-
Fe	mg/m <sup>3</sup>	0.0423980	6.0800	10.9807	0.3381977	0.17727	0.3460	2.99409	-

n.d.: no se detectó

**Cuadro C-16: Proyecto de Límite de Emisiones para el Nuevo Incinerador de  
Residuos Sólidos**

Artículo	Unidad	Concentración	Comentarios
Partículas	mg/m <sup>3</sup>	30	Valor promedio cada hora
CO	mg/m <sup>3</sup>	63	Valor promedio diario
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	80	Valor promedio cada hora
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	300	Valor promedio cada hora
HCl	mg/m <sup>3</sup>	15	Valor promedio diario
HF	mg/m <sup>3</sup>	5	Valor promedio cada hora
PCDD & PCDF	ng/m <sup>3</sup>	0.15	valor promedio cada 6 horas
Cd	mg/m <sup>3</sup>	0.07	Valor promedio cada hora
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0.07	Valor promedio cada hora
As, Co, Se, Ni, Mg, Sn	mg/m <sup>3</sup>	0.7	Valor promedio cada hora
Pb, total -Cr, Cu, Zn	mg/m <sup>3</sup>	0.7	Valor promedio cada hora

La DGSU consideró la posibilidad de convertir este incinerador en uno de residuos hospitalarios al inicio de los ochenta; sin embargo, se juzgó que la conversión no sería factible, en vista de las funciones y el desempeño esperado de las unidades, ya que las modificaciones serían limitadas.

#### b. Compostaje

Sólo existe una instalación de compostaje que opera la DGSU, y es una planta de composta en hileras, con una capacidad de procesamiento de 18,000 m<sup>3</sup> al año. Actualmente cuenta con una producción anual de 2,300 m<sup>3</sup>, que se produce



exclusivamente de residuos de jardinería (por ejemplo del pasto y árboles podados) que se obtienen del mantenimiento de parques públicos del GDF.

Esta planta realiza el control de la calidad de la composta con base en los valores recomendados por el Consejo de Composta de Texas, ya que actualmente no existen normas o estándares del mismo en México.

La proporción carbono/nitrógeno (C/N) de los elementos para producir composta es de 20 a 30%, por lo que se adiciona abono animal a los desperdicios de jardinería para ajustar el contenido de nitrógeno (Cuadro C-17). Los experimentos de la descomposición de los cadáveres animales en el compostaje de residuos de jardinería lograron resultados significativos.

Cuadro C-17: Calidad de la Composta

Concepto	Unidad	Concentración
Nitrógeno	(%)	1.233
Fósforo	(%)	0.38
Potasio	(%)	0.83
Calcio	(%)	1.96
Magnesio	(%)	1.56
Fierro	(%)	0.127
Plomo	(ppm)	126.58
Cobre	(ppm)	18.7
Zinc	(ppm)	63.8

Se operó una planta municipal de compostaje de RS (capacidad nominal de 750 ton/día con sistema en hilera) en el sitio de SJA adjunto al incinerador, que fue desmantelado en 1992. Las bandas de selección manual de la entrada de la planta no fueron desmanteladas, aunque fueron modificadas como parte de las bandas de recuperación de materiales de la P/S que funcionan actualmente.

Esta planta de compostaje, que fue construida por una compañía suiza (Buehler Miag) utilizaba los siguientes sistemas.

- Alimentación mixta de los residuos municipales.
- Selección Magnética (eliminación de material ferroso).
- Selección manual de los materiales reciclables.
- Compostaje de los residuos.

Sin embargo, los productos de composta contenían una cantidad importante de vidrio y plásticos, por lo que no se logró alcanzar la calidad requerida para lograr un fertilizante adecuado y ponerlo en el mercado. En consecuencia, sólo se pudo utilizar como acondicionador del suelo en los parques públicos y áreas verdes.

La producción de una planta era más baja que su capacidad nominal, debido a una operación y mantenimiento inapropiados; falta de presupuesto; deficiencia en la importación de refacciones y una administración ineficaz. El nivel de producción descendió hasta 250 ton/día, antes de que se ordenara la suspensión de operaciones de la planta.

Por otra parte, teniendo en cuenta el objetivo de mejorar la situación socioeconómica de los recolectores de residuos, no se puede administrar la planta únicamente con un enfoque sobre la eficiencia en la producción.

Tal y como se describió anteriormente, éstas fueron las causas principales por las que no resultó conveniente la operación.

- El proyecto estaba orientado hacia los residuos municipales mixtos, por lo que se producía una composta de mala calidad.
- La planta no contaba en ese tiempo con la capacidad administrativa para desarrollar objetivos de bienestar social (por ejemplo, para los recolectores de residuos).

### c. Planta de Selección (P/S)

Actualmente operan 3 P/S para la recuperación de materiales reciclables a partir de residuos municipales mixtos. Se muestran los rasgos generales de la P/S en el Cuadro C-18. Se encuentran instaladas básculas en la P/S de Bordo Poniente y la P/S de SJA. Ya que la P/S de Santa Catarina no cuenta con una báscula, la cantidad de flujo de residuos (a la entrada y a la salida) se calcula a partir de los viajes de transporte registrados y multiplicados por la carga estimada de residuos por cada vehículo.

Cuadro C-18: Rasgos Generales de las P/S

	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina
Año de establecimiento	Julio/1994	Julio/1994	Marzo/1996
Área del sitio	9,500 m <sup>2</sup>	8,000 m <sup>2</sup>	5,600 m <sup>2</sup>
Duración	15 años	15 años	15 años
Sistema de pesaje	Báscula	Báscula	Número de vehículos (no hay una báscula instalada)
Capacidad	2,000 ton/día	2,000 ton/día	1,500 ton/día
Número de líneas de selección	4 líneas	4 líneas	3 líneas
Capacidad por línea	500 ton/día	500 ton/día	500 ton/día
Horas de trabajo	24 horas/3 turnos lunes a viernes	24 horas/3 turnos, lunes a sábado	24 horas/3 turnos lunes a viernes
Número de trabajadores	400 personas (ex-pepenadores de Prados de la Montaña)	500 personas (ex-pepenadores de Prados de la Montaña)	400 personas
Organización laboral	"Frente Único de Pepenedores, A.C."	"Asociación de Selectores de Desechos Sólidos de la Metrópoli, A.C."	"Unión de Pepenedores del DF Rafael Gutiérrez Moreno, A.C."
Número de trabajadores para selección	42 personas/línea	42 personas/línea	62 personas/línea
Materiales recuperados	Papel, cartón, plástico, vidrio, lamina de acero, aluminio, cobre, hierro, tortilla, hojalata, colchones, llantas, ropa.	Papel, cartón, plástico, vidrio, lamina de acero, aluminio, tortilla, hojalata, colchones, llantas, ropa	Papel, cartón, plástico, vidrio, lamina de acero, aluminio, cobre, hierro, tortilla, hojalata, colchones, llantas, ropa

Los objetivos iniciales para la instalación de estas P/S eran la promoción de las actividades de reciclaje, además del desarrollo para el bienestar social (mejorar el ambiente de trabajo de los pepenedores convirtiéndolos de trabajadores a cielo abierto a trabajadores en plantas de reciclaje). Las P/S todavía cuentan con las características de instalaciones de bienestar social.

El Cuadro C-19 muestra las tasas de recuperación de cada planta, que van desde 4 hasta 6%. Por otra parte los muestreos de la composición de residuos que la DGSU realiza periódicamente revelan que los residuos reciclables representan un promedio de 37% en las fuentes de generación. Las razones detrás de la baja tasa de recuperación en las P/S pueden ser las siguientes:

- Cerca de 14% de los materiales recuperables son separados de antemano por barrenderos y por la tripulación de los vehículos recolectores.
- Únicamente se recuperan los materiales que tienen un valor muy cotizado en el mercado (los materiales que no tienen valor en el mercado o escaso no son recuperados, aunque son reciclables)
- Los materiales más limpios o más puros (los que están menos contaminados o deformados son los que más se buscan en la recuperación , por lo que la tasa de recuperación disminuye ( es decir, la recuperación cuantitativa no es un objetivo a seguir)
- Ya que los residuos que entran son residuos municipales mezclados, cuando estos últimos son introducidos en los transportadores pueden formar una capa gruesa entremezclada sobre las bandas de selección, lo cual en consecuencia reduce la eficiencia de la selección.
- La velocidad de las líneas de transportación es de aproximadamente 20 metros/min., lo que impide una recuperación apropiada de los materiales.

Además, los espacios de trabajo en las áreas de selección de las tres P/S son insuficientes. Especialmente en la P/S de Bordo Poniente que se construyó primero, razón por la cual su espacio es más limitado a diferencia de las otras plantas. Incluso, debido a que las bolsas se rompen de manera manual sobre el transportador de alimentación, es evidente el peligro para la seguridad de los trabajadores.

Cuadro C-19: Cantidad recuperada anual y proporciones en 1997

unidad: ton/año

	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina	Total
Cantidad anual que ingresa	609,973.77	700,470.05	455,438.30	1,765,882.12
Cantidad recuperada anual	32,040.05	30,646.21	30,169.24	92,855.50
Tasa de recuperación (%)	5.3	4.4	6.6	5.3

Cuadro C-20: Desglose de los Materiales Recuperados en 1997

unidades: ton/año

	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina	Total
Cartón	3,305.98	5,303.34	933.55	9,542.87
Papel	3,249.87	4,856.80	3,742.31	11,848.98
Película			424.72	424.72
Plástico rígido			9,635.58	9,635.58
Vidrio	12,276.21	6,939.61	9,303.01	28,518.83
Lamina de acero	3,202.08	384.31	4,090.17	7,656.56
Aluminio			795.66	795.66
Lata de Aluminio		62.54		62.54
Hierro	1,746.41		86.19	1,832.60
Lata de acero		4816.15		4,816.15
Tortilla		268.13	655.91	924.04
Cobre			30.54	30.54
Chácharas		300.87	130.86	431.73
Colchón			47.30	47.30
Plantas	546.66		233.27	779.93
Baterías			0.03	0.03
Ropa	470.36		16.02	486.38
Resina acrílica (fibra)			0.67	0.67
Embalaje de papel			9.64	9.64
Madera (pino)	66.12		33.81	99.93
Plástico		6,990.92		6,990.92
Trapo		41.90		41.90
Poliétileno		435.66		435.66
Árboles de Navidad		127.07		127.07
Base del colchón		138.91		138.91
Botella PET	5,432.06			5,432.06
Plástico	789.5			789.50
Vinilo	704.56			704.56
Hueso	250.24			250.24
<b>Total</b>	<b>32,040.05</b>	<b>30,646.21</b>	<b>30,169.24</b>	<b>92,855.50</b>

Los costos de operación y mantenimiento (O&M) de cada P/S en 1997, que fueron recopilados por la DGSU, se muestran en el Cuadro C-21. Éste proporciona el costo unitario de O&M (de acuerdo al tonelaje de los residuos reciclados en la P/S), que es de \$1,126 pesos/ton en promedio.

Cuadro C-21: Costo de Operación y Mantenimiento en 1997

		Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina	Promedio
Costo unitario por reciclaje	pesos/ton recobrar	1,061	1,083	1,237	1,126
	pesos/ton entrada	50.40	53.69	50.49	51.45

Fuentes: Costos de los Servicios Urbanos 1997, DGSU

El Cuadro C-22 resume los costos de O&M en 1996 que fueron calculados para cada P/S.

Cuadro C-22: Costo de Operación y Mantenimiento Calculado en 1996

	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina	Total
Cantidad anual que entra	618,858	627,399	234,771	1,431,028
Costo de O&M (pesos)	22,020,077	25,232,160	6,145,062	53,407,299
costo unitario (\$P/ ton ingresada)	35.60	40.22	26.17	(Prom)36.06

Fuentes : Dirección Construcción y Mantenimiento Subdirección de Mantenimiento de Instalaciones y Equipo  
Plantas de Selección y Aprovechamiento de Residuos Sólidos Costos de Operación y  
Mantenimiento Ejercicio 1996 DGSU

### C.3.4 Sistema de Barrido en Calles

Respecto al barrido en calles en el DF la DGSU está a cargo del barrido de las vialidades principales en las cuales se utilizan barredoras mecánicas y barrido manual. Cada delegación está a cargo de las vías secundarias, en las que predomina el barrido manual.

La limpieza de los parques públicos y de las áreas verdes están en su mayoría a cargo de las delegaciones y parte de la DGSU, y se realiza con barrido y limpieza manual.

El promedio longitudinal de las calles en las que la DGSU realiza el barrido es de 1,237.4 km/día. Una investigación de la DGSU informó que la proporción de generación de residuos en la calles es de 125.53 kg/km. Esto significa que la generación de residuos en la calle es de 160 ton/día en las vías principales. Por otra parte, la recolección de los residuos en las calles secundarias está a cargo de las delegaciones, mediante sus vehículos recolectores.

**Cuadro C-23: Cantidad Generada de Residuos que se Barren en la Red Vial Primaria**

Delegación	Longitud que se barre diariamente (km./día)	Cantidad barrida de desperdicios de residuos en la red vial primaria (kg/ día)
Álvaro Obregón	88.95	11,166
Azcapotzalco	49.03	6,155
Benito Juárez	84.76	10,640
Coyoacán	75.30	9,452
Cuajimalpa	27.59	3,463
Cuauhtémoc	102.66	12,887
Gustavo A. Madero	245.85	30,862
Iztacalco	81.89	10,280
Iztapalapa	136.20	17,097
M. Contreras	27.30	3,427
Miguel Hidalgo	159.17	19,981
Milpa Alta	24.84	3,118
Tláhuac	51.72	6,492
Tlalpan	0.00	0
V. Carranza	69.30	8,699
Xochimilco	48.84	6,131
<b>Total</b>	<b>1,273.40</b>	<b>159,850</b>

Fuente: Estudio Preparatorio sobre el Manejo de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México, Anexo J-1

El área total de los parques públicos y las áreas verdes es de 2,128 ha. Una investigación de la DGSU reportó que la proporción de generación de residuos de este sector es de 0.00883 (kg/m<sup>2</sup>/día) a partir de esto se deduce que la generación de residuos de parques públicos y áreas verdes es de 211 ton/día.

**Cuadro C-24: Cantidad Generada de Residuos en las Áreas Verdes**

Delegación	Área (m <sup>2</sup> )	Cantidad generada de residuos (kg/día)
Álvaro Obregón	792,000	7,865
Azcapotzalco	492,000	4,886
Benito Juárez	1,083,000	10,754
Coyoacán	868,000	8,619
Cuajimalpa	86,000	854
Cuauhtémoc	680,000	6,752
Gustavo A. Madero	4,155,000	41,259
Iztacalco	670,000	6,653
Iztapalapa	874,000	8,679
M. Contreras	115,000	1,142
Miguel Hidalgo	7,069,000	70,195
Milpa Alta	78,000	775
Tláhuac	148,000	1,470
Tlalpan	3,232,000	32,094
V. Carranza	766,000	7,606
Xochimilco	172,000	1,708
<b>Total</b>	<b>21,280,000</b>	<b>211,310</b>

Fuente: Estudio Preparatorio sobre el Manejo de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México, Anexo J-1