



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

***"PROPUESTA DE MEJORA A LA CLASIFICACIÓN DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS PARA SU
SEPARACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL, MÉXICO"***

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

INGENIERÍA AMBIENTAL – RESIDUOS SÓLIDOS

P R E S E N T A:

ING. ANA CAROLINA BERAS CUELLO



TUTOR:

M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS

2006

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser y darme todo.

A mis padres y hermanos, por ser mi gran apoyo y enseñarme las cosas más importantes de la vida.

A la OEA y LASPAU, por darme el apoyo económico y logístico necesario para realizar este sueño.

A la UNAM, por la valiosa preparación que me ha brindado.

A mi tutor, el M.C. Constantino Gutiérrez Palacios, por toda su dedicación y enseñanza.

A mi comité tutorial, Dra. Carmen Durán Domínguez de Bazúa y Dra. María Teresa Orta Ledesma, por sus acertadas sugerencias y el seguimiento que le dieron a mi trabajo.

A mis sinodales, M.I. Landy Irene Ramírez Burgos y Dra. Georgina Fernández Villagómez, por sus oportunas observaciones.

A todos mis profesores durante estos dos años, aprendí mucho de cada uno de ustedes.

Al Ing. Mauro López, la Ing. Cristina Ramos y la M.I. Ann Wellens, por su apoyo desinteresado.

Al Ing. Francisco Javier López Fernández, administrador de la Unidad Habitacional Villa Olímpica y a todos los condóminos que estuvieron dispuestos a participar en este estudio.

A mis compañeros de la maestría y todas las amistades que he hecho en México, gracias, no sé qué hubiera hecho sin ustedes.

A mis amigos, por siempre estar cerca a pesar de la distancia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen / Abstract	III
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VI
<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	2
1.1 Justificación	3
1.2 Hipótesis	4
1.3 Objetivo general	4
1.4 Objetivos particulares	4
1.5 Alcances	5
<u>2. ANTECEDENTES</u>	7
2.1 Generación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México	7
2.2 Características de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México	9
2.3 Flujo de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México	10
2.4 Problemática de la disposición final de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México	12
2.5 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, México	12
2.6 Aprovechamiento de los residuos “orgánicos”	13
2.7 Aprovechamiento de los residuos “inorgánicos”	15
2.8 Experiencias exitosas	19
2.9 Comentarios	24
<u>3. METODOLOGÍA</u>	26
3.1 Definición de los tipos de separación estudiados	26
3.2 Sitio de muestreo	29
3.3 Obtención de las muestras	30
3.4 Aplicación de encuestas	37
3.5 Análisis de las muestras	38
3.5.1 Análisis en el laboratorio	38
3.5.2 Análisis estadístico de los datos obtenidos	39
3.5.2.1 Normalidad	40
3.5.2.2 Independencia	40
3.5.2.3 Igualdad de varianzas	41
3.5.2.4 Igualdad de medias	41
3.5.2.5 Intervalo de confianza	42
3.6 Observaciones	42
<u>4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS</u>	44
4.1 Análisis estadístico de las muestras	44

4.1.1 “Orgánicos”	44
4.1.1.1 Independencia	44
4.1.1.2 Igualdad de varianza	46
4.1.1.3 Igualdad de medias	46
4.1.2 “Inorgánicos”	47
4.1.3 “Otros”	48
4.1.4 “Reciclables”	48
4.1.5 “Vidrio”, “plástico”, “metal”, “papel-cartón” y “otros” (Etapa III)	49
4.2 Evaluación de resultados	49
4.2.1 “Orgánicos”	50
4.2.2 “Inorgánicos”	52
4.2.3 “Otros”	55
4.2.4 “Reciclables”	57
4.2.5 Evaluación de resultados de la Etapa III	60
4.3 Resultados de las encuestas	65
4.4 Estimación del incremento en la eficiencia de separación en las plantas de selección	67
4.4.1 Eficiencia de separación actual	68
4.4.2 Eficiencia de separación con los residuos separados en “orgánicos” e “inorgánicos”	69
4.4.3 Eficiencia de separación con el método propuesto (“reciclables” y “otros”)	70
4.4.4 Eficiencia de separación con el método propuesto de 5 clasificaciones	71
4.4.5 Valores reales de la eficiencia de separación	71
<u>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	73
5.1 Conclusiones	73
5.2 Recomendaciones	74
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	76
<u>ANEXOS</u>	81
ANEXO A Resultados obtenidos en el laboratorio	82
ANEXO B Pruebas estadísticas	95
Anexo B.1 Prueba de independencia	96
Anexo B.2 Prueba de igualdad de varianzas	106
Anexo B.3 Prueba de igualdad de medias	112
ANEXO C Encuestas aplicadas	118
Anexo C.1 Encuesta aplicada en las Etapas I y II	118
Anexo C.2 Encuesta aplicada en la Etapa III	119
ANEXO D Resultado de las encuestas	121
ANEXO E Plano de la Unidad Habitacional Villa Olímpica	123

R E S U M E N

Actualmente en el Distrito Federal, México, se generan más de 12,000 t/d de residuos sólidos, de los cuales casi la mitad (47%) son de origen domiciliario. Estos residuos son dispuestos casi en su totalidad en el relleno sanitario Bordo Poniente IV, al cual la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) ha calculado una vida útil hasta el año de 2008. Encontrar un nuevo sitio de disposición se ha convertido en una de las principales problemáticas ambientales de la ciudad, ya que por el altísimo volumen de generación de residuos y la gran extensión de la mancha urbana ha sido muy difícil encontrar un lugar factible para la construcción de tal infraestructura. En abril de 2004 se publicó la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF), que tiene como uno de sus objetivos principales promover la reducción de residuos que llegan a disposición final, lo que implicaría alargar la vida útil de Bordo Poniente IV y por ende amortiguar los impactos ambientales adversos producidos como consecuencia de la construcción y operación de un relleno sanitario. Para lograr este objetivo una de las propuestas principales de la ley es la separación de los residuos sólidos desde su fuente de generación en “orgánicos” e “inorgánicos”. Con el manejo separado de los residuos se pretende optimizar el aprovechamiento de los mismos para la elaboración de composta en el caso de la fracción “orgánica” y el reuso y reciclaje de materiales de la fracción “inorgánica”. Este trabajo analizó desde diferentes puntos de vista (infraestructura, comportamiento de la población, economía, entre otros) si, para las condiciones actuales del D.F., la clasificación para la separación de los residuos que indica la ley es la más adecuada y con base en este análisis se propuso una clasificación para la separación de residuos sólidos con la que puedan obtenerse de mejor manera las metas a las que se pretende llegar con su separación. Para ello se realizaron investigaciones bibliográficas, entrevistas con funcionarios de la DGSU, visitas técnicas y un trabajo de campo realizado en una zona habitacional de estrato socio-económico medio. Con el trabajo de campo se compararon los resultados generados tanto con la separación que indica la ley como con la propuesta en este trabajo y se pudo observar, entre otras cosas, que se encontró un 29% más de materiales en condiciones “ideales” para ser reutilizados y/o reciclados cuando se separaron los residuos de la manera propuesta que cuando fueron

separados como indica la ley y que aunque la muestra poblacional se familiarizaba más con la separación como se indica en la ley, el 100% estaría en total disposición de realizar la separación propuesta si la misma conllevara mayores beneficios ambientales. Además, se presenta un estudio complementario en el que se evalúa una separación propuesta de cinco clasificaciones, básicamente para inferir el comportamiento de la población estudiada al manejar ese tipo de separación, además de ver las condiciones en las que se encontraban los residuos al ser separados de esa manera.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En el Distrito Federal (D.F.), México, se generan más de 12,000 toneladas diarias de residuos sólidos, las cuales son en su mayoría dispuestas en el relleno sanitario Bordo Poniente, al cual se le estima una vida útil hasta el año 2008 (PGGIRS, 2004). Aún las autoridades del D.F. no han encontrado un lugar apropiado para la localización de un nuevo relleno, por lo que han tomado medidas para alargar su vida útil, minimizando los residuos que llegan a disposición final a través de promover el aumento del aprovechamiento de los mismos, logrando con esto minimizar los impactos ambientales adversos que conlleva el uso del medio para el confinamiento de residuos (contaminación del suelo, del agua superficial y subterránea, entre otros), además de contribuir a la conservación de energía y recursos naturales vírgenes usados como materia prima en la fabricación de ciertos productos.

La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF) establece como parte de las acciones de la política ambiental dirigidas a enfrentar la problemática antes descrita:

“Adoptar medidas para la reducción de la generación de los residuos sólidos, su separación en la fuente de origen, su recolección y transporte separados, así como su adecuado aprovechamiento, tratamiento y disposición final.” (Cap. II, Art. 11).

“Promover la reducción de la cantidad de los residuos sólidos que llegan a disposición final.” (Cap. II, Art. 11).

“Todo generador de residuos sólidos debe separarlos en orgánicos e inorgánicos, dentro de sus domicilios, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, instituciones públicas y privadas, centros educativos y dependencias gubernamentales y similares.

Estos residuos sólidos, deben depositarse en contenedores separados para su recolección por el servicio público de limpia, con el fin de facilitar su aprovechamiento, tratamiento y disposición final, o bien, llevar aquellos residuos sólidos valorizables directamente a los establecimientos de reutilización y reciclaje.” (Cap. IV, Art. 33).

Estas disposiciones entraron en vigencia el 1ero. de octubre del 2004 y contemplan la separación de los residuos en “orgánicos” e “inorgánicos” en la fuente de generación,

con el fin de que este manejo facilite el aprovechamiento de los mismos, con lo que se disminuiría la cantidad de desechos dispuestos en el relleno sanitario (LRSDF, 2003).

El Programa General de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGGIRS) tiene estipulado el aprovechamiento de la fracción “orgánica” de los residuos mediante la elaboración de composta y para la “inorgánica” su reutilización y reciclaje. La infraestructura con la que cuenta el D.F. para la producción de composta tiene la capacidad para manejar sólo el 4.1% de la generación de tales residuos y según el Estudio para el Manejo de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México, elaborado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, las plantas de composta instaladas en el D.F. han cerrado debido a la pobre comercialización de este producto, lo cual es apoyado también por observaciones de campo realizadas en esta investigación (JICA, 1999). Sin embargo, para el acopio de los residuos “inorgánicos”, actualmente se cuenta con tres plantas de selección con una capacidad instalada conjunta para manejar unas 6,500 t d⁻¹ de residuos, cantidad que prácticamente iguala la generación de residuos “inorgánicos” (PGGIRS, 2004).

Desde la planeación para el establecimiento del programa de separación se han invertido recursos y esfuerzos para que el mismo cumpla eficazmente con el propósito para el cual fue establecido, pero esta eficiencia dependerá de varios factores, entre los que se encuentra como uno de los más importantes si la clasificación de los residuos establecida por la ley para su separación es la más adecuada para las condiciones actuales del D.F.

1.1 Justificación

Para evaluar qué tan adecuada para los fines y para las condiciones actuales del D.F. es la actual clasificación que se maneja para la separación de los residuos sólidos en la fuente de generación, es necesario estudiar las opciones existentes para el aprovechamiento de los materiales, si existe una infraestructura apropiada para su manejo y aprovechamiento y cuán valorizables pueden ser al separarlos de esa manera.

1.2 Hipótesis

La actual clasificación para la separación de los residuos sólidos domiciliarios propone un aprovechamiento de residuos “orgánicos” para los que no se cuenta en la actualidad con suficiente infraestructura y su comercialización es pobre, limitando así la potenciación y el aprovechamiento de los residuos “inorgánicos”, para los que se cuenta con infraestructura y una activa comercialización, y que podrían representar un buen porcentaje de materiales que no serán dispuestos en el relleno sanitario. Esta hipótesis pretende ser probada con estudios bibliográficos y de campo y los resultados de los mismos serán la base para proponer mejoras al programa de separación de residuos sólidos.

1.3 Objetivo general

Proponer, para las condiciones actuales del D.F., mejoras a la clasificación para la separación de los residuos sólidos domiciliarios con las cuales puedan lograrse en mayor proporción las metas que propone la LRSDF que deben alcanzarse a raíz del manejo separado de los residuos.

1.4 Objetivos particulares

- Investigar la infraestructura existente en el D.F. para las opciones de aprovechamiento de los residuos que presenta el PGGIRS.
- Realizar un estudio de campo que refleje las condiciones en las que se encuentran los residuos de la manera en que la LRSDF exige que se manejen y de la manera que esta investigación propone.
- Realizar un estudio social, mediante encuestas, que refleje la percepción de la población en cuanto a la dificultad y el beneficio común de la clasificación de los residuos según la LRSDF y la propuesta por este trabajo.

1.5 Alcances

- El estudio tomará en cuenta solamente los residuos sólidos domiciliarios.
- El estudio se realizará únicamente en una zona habitacional del D.F.
- El estudio se realizará sólo para el estrato socio-económico de nivel medio.
- Se propondrá una clasificación alternativa para la separación de los residuos sólidos domiciliarios del D.F.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

Los programas de separación en la fuente se basan en la separación de los materiales en el lugar donde son desechados en vez de que los mismos se mezclen antes de desecharlos, de acuerdo con categorías establecidas para facilitar su reciclaje (Robinson, 1986).

Establecer estas categorías depende en gran medida de la tendencia de generación de residuos de la población, la infraestructura con que se cuenta para el manejo de los mismos, las limitaciones financieras y la demanda que tengan los materiales.

En este segundo capítulo se trata precisamente sobre la generación de residuos sólidos (RS) en el D.F. y las características de los mismos, cómo son manejados, el marco legal de la separación de residuos y la infraestructura con que actualmente se cuenta para el acopio y/o aprovechamiento de los mismos, además de incluir algunas experiencias exitosas del manejo separado de los residuos en otras ciudades.

2.1 Generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en el Distrito Federal, México

Como se comentó anteriormente, en el D.F. son generadas más de 12,000 toneladas diarias de RSU. Los mismos son producidos por los 8,605,239 habitantes fijos y la población flotante que ingresa diariamente a la zona metropolitana. La generación estimada *per cápita* de residuos es de 1.394 kg hab⁻¹ d⁻¹ (PGGIRS, 2004).

En la Figura 2.1 se muestra cómo se distribuye esta generación en las 16 delegaciones políticas en que está dividido el D.F.

Cabe destacar que de ese volumen generado casi la mitad (47%) son generados por los domicilios. En la Fig. 2.2 se presenta la cantidad producida por fuente generadora.

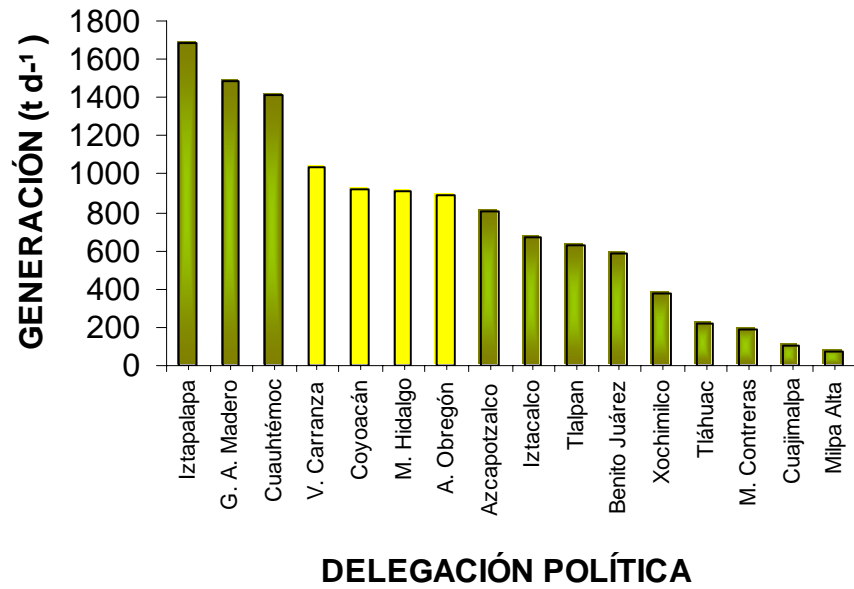


Fig. 2.1 Generación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México, por delegación política (PGGIRS, 2004)

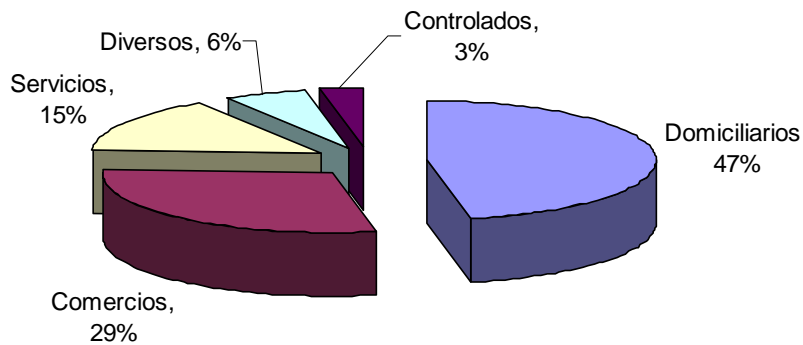


Fig. 2.2 Generación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México, por fuente generadora (PGGIRS, 2004)

2.2 Características de los RSU del Distrito Federal, México

En general, los RSU del D.F. están compuestos por un 43% de residuos “orgánicos” y un 57% de residuos “inorgánicos” (PGGIRS, 2004).

Para fines de esta investigación es importante caracterizar específicamente los residuos sólidos domiciliarios (RSD), los cuales se componen de un 39.78% de residuos “orgánicos” y un 60.22% de residuos “inorgánicos”.

La Tabla 2.1 muestra la composición física porcentual de los RS generados en los domicilios del D.F.

En los RSD los residuos alimenticios representan el mayor porcentaje (34.66%), pero la tendencia de generación de los mismos es decreciente, ya que para el período 1974-1988 el porcentaje de generación promedio de esta clase de residuos era de un 44.14%, o sea, casi un 10% más que en la actualidad. Por otro lado, existe una tendencia de crecimiento en la generación de materiales como el cartón, plástico, papel, metales ferrosos y vidrio (INE, 2005).

Tabla 2.1 Composición física porcentual de los residuos sólidos domiciliarios generados en el Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004)

No.	SUBPRODUCTOS	PORCENTAJE EN PESO (%)
1	Abatelenguas	0
2	Algodón	2.15
3	Cartón	5.36
4	Cuero	0.11
5	Envase de cartón	1.96
6	Fibra dura vegetal	0.06
7	Fibra sintética	1.43
8	Gasa	0
9	Hueso	0.08
10	Hule	0.2
11	Jeringa desechable	0

Tabla 2.1 Composición física porcentual de los residuos sólidos domiciliarios generados en el Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004) (cont.)

12	Lata	1.58
13	Loza y cerámica	0.37
14	Madera	0.1
15	Material de construcción	0.63
16	Material ferroso	1.39
17	Material no ferroso	0.06
18	Papel bond	1.19
19	Papel periódico	4.61
20	Papel sanitario	8.78
21	Pañal desechable	3.37
22	Placas radiológicas	0
23	Plástico de película	6.24
24	Plástico rígido	4.33
25	Poliuretano	0.16
26	Poliestireno expandido	0.78
27	Residuo alimenticio	34.66
28	Residuo de jardinería	5.12
29	Toallas sanitarias	0
30	Trapo	0.64
31	Vendas	0
32	Vidrio de color	4.00
33	Vidrio transparente	6.77
34	Residuo fino	1.21
35	Otros	2.66
	SUMA	100

2.3 Flujo de los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal, México

Los RSU generados son recolectados, transferidos, transportados y, finalmente, casi en su totalidad llegan al relleno sanitario Bordo Poniente IV, donde son confinados. Este relleno sanitario es el único con el que cuenta actualmente el D.F. y al mismo le fue estimada una vida útil hasta el año 2001 (JICA, 1999), pero aún sigue en operación y se

planea para el año 2006 comenzar la primera fase de las actividades para su cierre. En la Figura 2.3 se presenta el flujo de los RS del D.F., desde su generación hasta su disposición final.

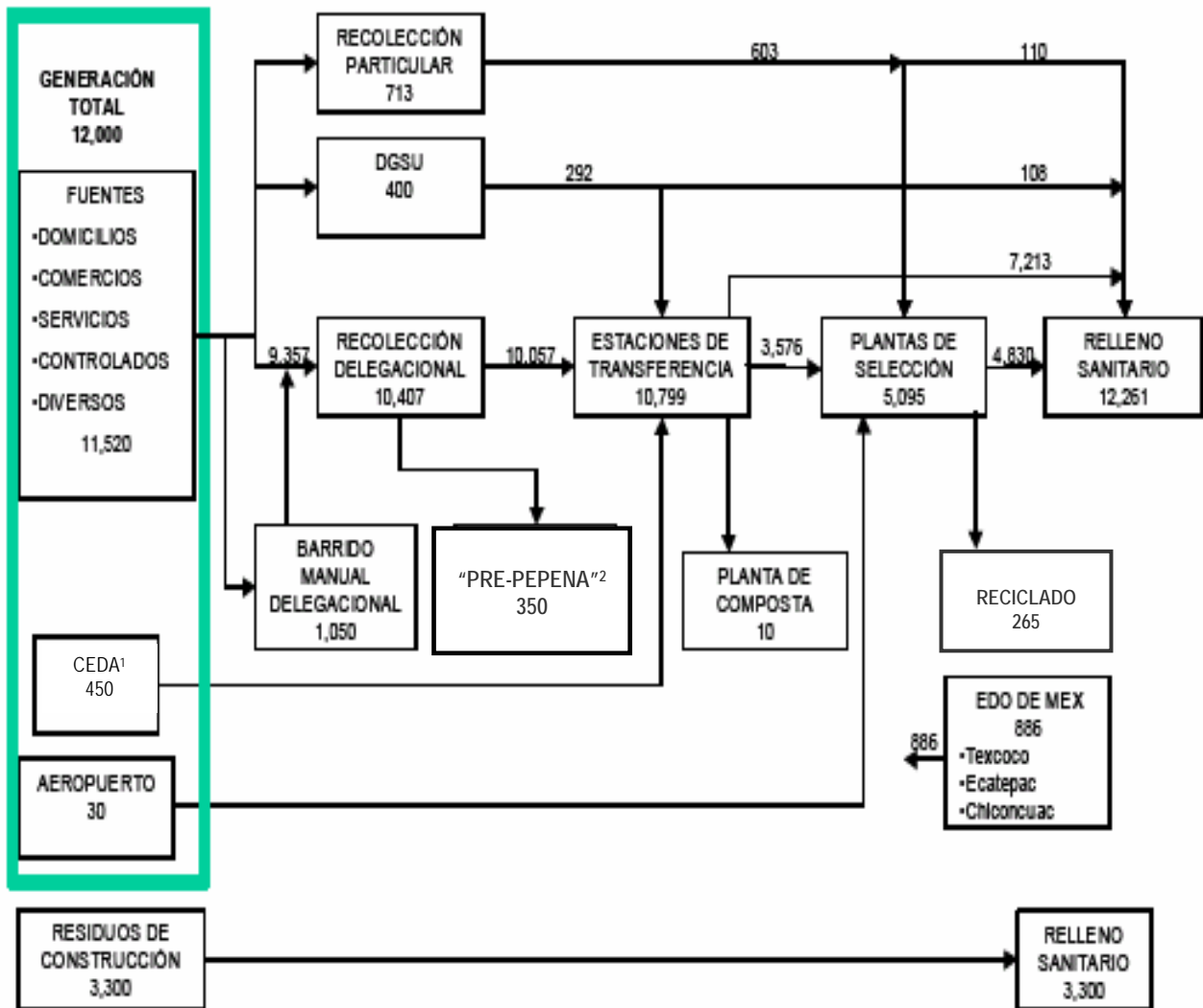


Fig. 2.3 Flujo en toneladas de los residuos sólidos en 2002 en el Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004)

¹ CEDA son las siglas de la Central de Abasto

² La palabra "pepena" viene del náhuatl (azteca), escoger algo o recoger lo esparcido en el suelo (Cabrera, 2002)

Sólo aproximadamente unas 625 t d⁻¹ (5.21%) de los residuos generados son desviadas para disponerse en Bordo Poniente IV. De esta cantidad, únicamente 10 toneladas (0.08%) son residuos orgánicos llevados a plantas de composta para su aprovechamiento. El resto son residuos inorgánicos acopiados principalmente por los trabajadores de limpia y las plantas de selección.

2.4 Problemática de la disposición final de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, México

Diariamente son dispuestas en el relleno sanitario Bordo Poniente IV unas 12,261 t de RSU (11,375 t de residuos del D.F. y 886 t de los municipios del Estado de México Texcoco, Ecatepec y Chiconcuac), además de aproximadamente 3,300 t provenientes de los residuos de la construcción.

Este relleno sanitario se encuentra cerca de su saturación, por lo que es necesario poder contar desde ya con un nuevo terreno que pueda destinarse a construir la infraestructura para poder ser usado como el próximo relleno sanitario del D.F. Contar con este terreno se ha convertido en una de las principales problemáticas que enfrenta en este momento el D.F., ya que debido a su altísimo volumen de generación de residuos y a la extensión de la zona metropolitana, se ha dificultado en gran manera la consecución de un área apta ambientalmente y factible económicamente para la localización del nuevo relleno de la ciudad.

2.5 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

El 23 de abril del 2003 fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal la “Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal”, la cual tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia.

Una de las disposiciones de esta ley (considerada como el eje principal del manejo integral de los residuos por el PGIRS), que entró en vigencia el 1ero. de octubre del 2004,

es el manejo separado de los RS. Los mismos deben ser separados en “orgánicos” e “inorgánicos” desde su fuente de generación y mantener esta separación durante su recolección, transporte, transferencia y tratamiento.

El objetivo de la separación en fuente y el transporte selectivo de los residuos es básicamente maximizar su aprovechamiento y reducir el volumen que llega a disposición final (PGGIRS, 2004).

Los beneficios asociados a esta práctica son, entre los más relevantes (PGGIRS, 2004):

- Mayor limpieza de los materiales
- Más facilidad en su manejo
- Mejor aprovechamiento de las fracciones separadas de los residuos
- Mayor vida útil del sitio de disposición final
- Fortalecimiento de las actividades de reutilización y reciclaje de los residuos
- Beneficios ambientales

2.6 Aprovechamiento de los residuos “orgánicos”

Para la fracción “orgánica” de los residuos se ha planteado su aprovechamiento a través de la elaboración de composta (PGGIRS, 2004).

En el D.F. se encuentran en operación 3 plantas de composta, una está localizada en la delegación Álvaro Obregón, otra en la delegación Xochimilco y otra en Bordo Poniente (operada por la Secretaría de Obras y Servicios), con las características presentadas en la Tabla 2.2.

Para el año 2004 también se encontraba en operación una planta de composta en la delegación Miguel Hidalgo, pero la misma fue cerrada debido a la pobre aceptación que tuvo por parte de los vecinos, principalmente por los olores que generaba y porque suponía un foco para la proliferación de fauna nociva. Esta planta era la única que

trataba residuos de alimentos. La misma contaba con un área de 15,000 m² y una capacidad instalada de 18 t d⁻¹.

Tabla 2.2 Características de las plantas de composta en operación en el Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004)

Planta de composta	Área total (m²)	Capacidad instalada (t d⁻¹)
Álvaro Obregón	10,000	10
Bordo Poniente	65,000	200
Xochimilco	4,300	4
TOTAL	79,300	214

Cabe destacar que la capacidad instalada actual para la producción de composta en el D.F. es de 214 t d⁻¹, o sea, podría procesarse tan sólo un 4.1% de la generación diaria de residuos “orgánicos”.

Es importante mencionar que existen otras opciones para el aprovechamiento de los residuos orgánicos. Una de las opciones más factibles en el aspecto ambiental y económico es la generación de electricidad a partir del biogás generado por la digestión de los residuos “orgánicos”, el cual es rico en metano. En la LRSDF no se aprecia en ninguno de sus artículos la posibilidad de explotar este recurso y el PGGIRS no la contempla dentro de los planes de construcción y mejoramiento de infraestructura tendientes a mejorar la gestión de residuos sólidos en el D.F., pero estudios realizados sobre este tema sostienen la viabilidad de proyectos de este tipo (Cmíral, 2003; Hernández-Cano y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2004), además de que en México ya se cuenta con una planta de generación de electricidad con biogás producido a partir de los residuos confinados en el relleno sanitario municipal de Salinas Victoria, Nuevo León, la cual tiene una capacidad nominal de generación de 8 MW, con proyección de crecer a niveles de 25 MW en el futuro (ITESM, 2004).

2.7 Aprovechamiento de los residuos “inorgánicos”

Para la fracción “inorgánica” de los residuos se ha planteado su aprovechamiento a través de su reutilización y reciclaje (PGGIRS, 2004).

Actualmente sólo son recuperados para estos fines algunos de los materiales considerados como “inorgánicos”, pues ciertos materiales, aunque en otros países son reprocesados o cuentan con mercado, esto aún no ocurre en México.

Quienes mayormente recuperan y venden estos materiales son las plantas de selección y los trabajadores de limpia, que durante la recolección los “pepenan” y almacenan en los camiones recolectores.

Se cuenta en el D.F. hasta ahora con tres plantas de selección con una capacidad instalada conjunta para manejar unas 6,500 t d⁻¹ de residuos, cantidad que prácticamente iguala la generación de residuos “inorgánicos”, la cual asciende aproximadamente a 6,840 t d⁻¹.

En las Tablas 2.3 y 2.4 se muestran las características de instalación y operación de cada una de las plantas.

Tabla 2.3 Características generales de las plantas de separación del Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004)

Característica	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina
Año de establecimiento	Julio, 1994	Julio, 1994	Marzo, 1996
Área del sitio (m ²)	9,500	8,000	5,600
Sistema de pesaje	Báscula	Báscula	Báscula
Capacidad instalada (t d ⁻¹)	2,000	2,000	2,500
Número de líneas	4	4	5
Capacidad por línea (t)	500	500	500
Horas de trabajo	24 h/ 3 turnos de lunes a viernes	24 h/ 3 turnos de lunes a sábado	24 h/ 3 turnos de lunes a sábado
No. de trabajadores por línea	42	42	42

Tabla 2.4 Operación y efectividad de las plantas de separación del Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004)

Concepto	Planta			
	Bordo Poniente	San Juan De Aragón	Santa Catarina	Total
Cantidad que ingresa (t año ⁻¹)	650,287	581,922	616,890	1,849,099
Cantidad recuperada (t año ⁻¹)	25,318	30,363	41,500	97,182
Tasa de recuperación (%)	3.9	5.2	6.7	5.3

La operación de estas plantas (Fig. 2.4) está a cargo de tres uniones de pepenadores, cada una a cargo de una planta; además, los materiales recuperados son vendidos por ellas y las ganancias generadas pasan a las mismas. La infraestructura y el mantenimiento de estas plantas han estado a cargo del estado.



Fig. 2.4 Planta de selección Bordo Poniente

A aquellos materiales generados en el D.F. que son factibles de ser recuperados y vendidos, en este trabajo se les denominan materiales “comerciables” y corresponden a

aquellos materiales que son acopiados por las plantas de selección (Tablas 2.5 y 2.6) y los trabajadores de limpieza, debido a que son los que cuentan con un mercado establecido.

Como se aprecia en la Tabla 2.4, la tasa de recuperación de material en las plantas es muy baja (de un 5.3% en promedio), lo que se debe principalmente a que los residuos llegan muy mezclados. Estas eficiencias aumentarían si menos residuos de “desecho” fueran colocados en las bandas separadoras.

Tabla 2.5 Subproductos recuperados por las plantas de selección del Distrito Federal, México (PGGIRS, 2004)

Materiales “comerciables” en el D.F.	
Bote aluminio	Papel color
Bote ferroso	Papel comercial
Hierro	Periódico
Lámina metálica	PVC
Cobre (tubo y alambre)	PET
Vidrio ámbar	PEAD
Pedacería de vidrio transparente	Tortilla
Vidrio verde	Trapo
Aluminio (traste, macizo, chatarra)	Colchón
Cartón	Cháchara
Papel blanco	Botella entera de refresco y cerveza

Tabla 2.6 Materiales separados en el 2004 por las plantas de selección del Distrito Federal, México (López, 2005)

Subproducto	Bordo Poniente (t año ¹)	San Juan de Aragón (t año ¹)	Santa Catarina (t año ¹)	Total (t año ¹)
Aluminio	85.0	25.7	53.5	164.2
Cartón	3,361.9	4,582.7	18,966.8	26,911.4
Cobre	9.8	39.9	109.9	159.7
Cháchara	0.0	82.8	220.2	303.1
Hueso	0.0	0.0	176.1	176.1
Lámina	2,686.5	4,043.7	6,048.9	12,779.1
Papel	1,831.7	12,145.2	6,696.0	20,672.8
Archivo	0.0	4,390.5	760.9	5,151.3
Periódico	178.8	12.0	661.4	852.2
Revoltura	400.4	1,715.0	1,475.8	3,591.3
Blanco	242.6	283.0	3,456.5	3,982.0
Color	1,009.9	5,744.7	341.4	7,096.0
Plástico	13,102.9	13,554.9	39,676.6	66,334.4
PET	8,585.1	7,064.2	22,164.5	37,813.8
Bolsa (PEAD, PEBD)	2,174.9	1,092.2	950.2	4,217.3
Vinil (PVC)	151.9	80.5	2,245.2	2,477.6
Duro (PEAD)	2,191.0	5,318.0	14,316.7	21,825.7
Tortilla	476.4	0.0	121.0	597.4
Alfombra	0.0	0.0	23.2	23.2
Vidrio	4,059.0	5,208.8	11,554.2	20,822.0
Blanco	3,796.2	3,384.6	3,679.6	10,860.3
Entero	84.0	0.0	3,737.9	3,821.9
Verde	13.3	1,305.6	2,613.4	3,932.2
Ámbar	165.6	518.6	1,525.3	2,209.5
Subtotal	25,613.2	39,683.7	83,646.5	148,943.4
VOLUMINOSOS				
Madera	103.3	34.9	0.0	138.2
Tarima	91.3	0.0	0.0	91.3
Pino navideño	12.0	34.9	0.0	46.9
Fierro	301.5	163.4	2,027.7	2,492.5
Neumáticos	36.6	0.0	126.3	162.9
Trapo	64.5	0.0	195.3	259.8
Colchón	46.4	0.0	36.0	82.4
Plato	0.0	0.6	0.0	0.6
Subtotal	552.3	198.8	2,385.3	3,136.4
TOTAL	26,165.4	39,882.5	86,031.8	152,079.7

2.8 Experiencias exitosas

Se ha observado que el aprovechamiento de los residuos sólidos se lleva a cabo en distintos países con gran regularidad y como parte indispensable de los programas de gestión integral de los residuos.

A continuación se presentan las experiencias de algunas ciudades en cuanto a las clasificaciones que manejan para la separación de sus residuos y los resultados que han obtenido de este manejo separado. Estas experiencias exitosas servirán de apoyo para la propuesta de separación de los RSD del D.F. que se realizó en este trabajo.

- **Austin, Texas (Lund, 1993)**

La ciudad de Austin, capital del estado de Texas, para el año 1993 contaba con una población de 481,000 habitantes aproximadamente.

La ciudad provee el servicio de recolección de residuos sólo a las áreas de viviendas unifamiliares, mientras que una empresa privada le recolecta a los multifamiliares y comercios. Las viviendas unifamiliares ascienden a 110,000 residencias, las cuales producen aproximadamente 160,000 t de residuos sólidos cada año.

En 1982 se comenzó un programa piloto para la recolección en acera de materiales reciclables, dándoles servicio a unas 3,000 viviendas. En 1983 se expandió el programa a 12,000 viviendas y para el año 1989 se completó la expansión, dándole servicio a las 110,000 viviendas unifamiliares.

Participar en el programa es voluntario y el mismo consiste en ofrecer a las viviendas una recolección semanal de algunos materiales. Estos materiales son recolectados juntos y deben ser sacados el día que toque la recolección a las 8:00a.m. Los mismos son colocados juntos en contenedores de 5 ó 14 galones, los cuales les son proporcionados a los participantes.

Los materiales recolectados en el programa son: papel periódico, cartón corrugado, bolsas de papel, envases y botellas de vidrio y latas de aluminio y hojalata. Estos materiales fueron seleccionados con base en los mercados existentes en ese entonces, pero periódicamente las empresas o agentes dedicados al comercio del material reciclado licitan el manejo de los materiales recolectados en el programa (tal como son recolectados); además, pueden sugerir materiales adicionales que pueden incluirse en el programa para su recolección.

Para 1989 la participación en el programa era de un 65%, con recolecciones mensuales de alrededor de 1,000 toneladas, o sea, un 7.5% de todo los residuos producido en las viviendas unifamiliares.

En 1988 se designó a la Solid Waste Advisory Commission (SWAC) para diagnosticar el manejo de los residuos en Austin y hacer recomendaciones para el futuro. En cuanto al programa de separación en fuente concluyeron que el contenedor proporcionado y la recolección de los residuos reciclables juntos eran lo mejor y más conveniente y esperan que este sistema resulte en mayores niveles de reciclaje en Austin.

- **San Francisco, California (Lund, 1993)**

La ciudad de San Francisco, en el estado de California, para el año 1993 contaba con una población de aproximadamente 724,000 habitantes.

Desde 1989 cuentan con un programa de recolección en acera de materiales reciclables. El mismo es voluntario y sirve alrededor de 170,000 casas y más de cinco unidades de edificios pequeños.

El programa consiste en ofrecer a las viviendas la recolección de: botellas y frascos de vidrio, latas de aluminio y hojalata, botellas plásticas de refresco (los mismos deben ser colocados en contenedores plásticos de 14 galones, los cuales son proveídos a la población) y papel y cartón (los mismos deben ser colocados en bolsas de papel). Estos

contenedores y bolsas con los materiales reciclables deben ser colocados en la acera el día en que les corresponde la recolección de los mismos para ser recolectados por los camiones y ser llevados a una planta de selección de materiales donde son separados y “mercadeados”.

En los primeros 18 meses del programa se reciclaron más de 18,000 toneladas de materiales, entre las que se incluían unos 15 millones de botellas de plástico y vidrio y 8 millones de latas de aluminio y hojalata. La tasa de participación promedio de la población fue de un 80%, con lo que se espera que el programa desvíe un 7% del total de los residuos producidos para que estos no lleguen a disposición final.

El mismo programa se está comenzando a implementar en grandes unidades habitacionales, con la diferencia de que los residuos son depositados y colectados en contenedores localizados en puntos estratégicos en las unidades, con capacidades de 60 ó 90 galones.

- **Chicago, Illinois (City of Chicago, 2005)**

A partir de diciembre del año 1995, la ciudad de Chicago, con casi 3 millones de habitantes (Wikipedia, 2005b), comenzó su programa de reciclaje “Bolsas Azules”. En dicho programa pueden participar aquellos habitantes que vivan en casas o edificios de hasta cuatro niveles y cuyos residuos sólidos sean recolectados por el Departamento de Calles y Saneamiento de la ciudad.

Participar en el programa consiste en apartar los materiales reciclables que maneja el mismo, ponerlos en las bolsas azules, sellar las bolsas y colocarlas junto a la demás basura para que sean recolectadas en conjunto por el servicio regular.

Los materiales que maneja el programa son: papel (de oficina, periódico y de color), envases de metal, de plástico y de vidrio, y residuos de jardín. Estos materiales deben ser enjuagados para removerles cualquier residuo de comida, bebida u otra sustancia.

Las bolsas azules en las que se deben colocar los residuos reciclables son suministradas en los supermercados o tiendas o pueden ser compradas.

Los residuos recolectados y las bolsas azules son llevados a cualquiera de las cuatro plantas de selección que existen en Chicago (Figura 2.5). Allí son separadas las bolsas y cada material contenido en las mismas es segregado y embalado para su venta.



Fig. 2.5 Planta de selección en Chicago (City of Chicago, 2005)

Desde su inicio hasta la fecha, este programa ha logrado recuperar más de un millón de toneladas de residuos que han sido reciclados y con esto se ha evitado que lleguen a disposición final, llegando así a un porcentaje de recuperación de materiales de alrededor de un 25%.

- **Ciudad de Nueva York, Nueva York (Department of Sanitation of New York City, 2005)**

En julio de 1989 se publicó en Nueva York la denominada Ley 19 y a partir de entonces reciclar se volvió obligatorio para los habitantes de la ciudad.

Se diseñó un programa de aprovechamiento de residuos sólidos para tales fines y, a partir de 1997, ya todos los habitantes de la ciudad, que ascienden a más de 8 millones (Wikipedia, 2005a), reciclaban los mismos materiales.

Actualmente este programa consiste básicamente en que los habitantes separan ciertos residuos y los colocan en contenedores especiales que son recogidos una vez por semana y llevados a plantas acondicionadoras o reprocesadoras privadas contratadas por la ciudad.

Los materiales que separan para su reciclaje son:

- Papel (periódico, de oficina, de color, para envoltura y bolsas), cartón y cartoncillo. Estos deben ser colocados en bolsas transparentes, contenedores de color verde o que tengan etiqueta verde (Figura 2.6).
- Latas de metal, papel y bandejas de aluminio, utensilios de metal, botellas y frascos de vidrio, botellas de plástico (de PET y PEAD) y cartones y cajas de leche y jugo. Estos deben colocarse en bolsas transparentes o contenedores de color azul o que tengan etiqueta azul (Figura 2.6) y deben enjuagarse.



**Fig. 2.6 Ilustración usada en la campaña educativa sobre el reciclaje en Nueva Cork
(Department of Sanitation of New York City, 2005)**

Deben participar en la separación de sus residuos tanto las residencias como las escuelas, instituciones y comercios.

En promedio, se han estado recolectando en la ciudad entre 366,000 y 423,000 toneladas cada año de papel reciclable y entre 250,000 y 331,000 toneladas cada año de envases reciclables de metal, vidrio y plástico; cantidades que pueden ser aprovechadas y que son desviadas de disponerse finalmente.

2.9 Comentarios

Las condiciones existentes para el aprovechamiento de los residuos sólidos en el D.F. presentadas en este capítulo hacen notar, por una parte, que los porcentajes de los residuos “orgánicos” como “inorgánicos” que actualmente se aprovechan son muy bajos, a pesar de que se cuenta con una infraestructura para la selección y el acopio de materiales “inorgánicos” con suficiente capacidad para recibir la totalidad de los mismos. Por otro lado, se ha evidenciado, por experiencias exitosas en diversas ciudades de los EEUUA, que el aprovechamiento de residuos puede ser exitoso y que, en el caso del D.F., el mejoramiento del programa de separación de los RSD en la fuente ayudaría a incrementar la cantidad de residuos reciclados, reduciendo así el envío de desechos al relleno sanitario y prolongando su vida útil.

Por lo anterior, en el siguiente capítulo se presenta una propuesta para la separación de los RSD del D.F. que pudiera incrementar, para las condiciones que en esta ciudad prevalecen actualmente, el porcentaje y la eficiencia de recuperación de materiales reciclables, además de una metodología para evaluar dicha propuesta al compararla con la separación que establece la LRSDF. También se presenta un estudio complementario en el que se evalúa una separación de cinco clasificaciones. Esta metodología fue probada en un estudio realizado como parte de este mismo trabajo, en una unidad habitacional de clase socioeconómica de nivel medio.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

Con base a la tendencia de generación de residuos sólidos de la población del D.F., la infraestructura con que cuenta para su reciclaje y la demanda que actualmente tienen ciertos materiales, se propone una clasificación para la separación de los RSD del D.F. que pueda resultar, para las condiciones actuales, en mayores cantidades de residuos que son aprovechados.

La separación propuesta en este trabajo será comparada con la separación que establece la LRSDF mediante un estudio de campo realizado para verificar básicamente la proporción de residuos “comerciables” encontrados en cada clasificación de los tipos de separación y la proporción de dichos residuos que se encontraban en condiciones ideales; además de obtener las opiniones e impresiones de la población participante en cuanto al grado de dificultad de cada tipo de separación y su disposición a adoptar alguno de estos tipos en caso de proveer mayores beneficios ambientales.

En este capítulo se explica la metodología que se utilizó para llevar a cabo el estudio de campo realizado para comparar los distintos tipos de separación que se manejaron.

3.1 Definición de los tipos de separación estudiados

En el estudio de campo se manejaron tres tipos de separación de residuos: a) Separación establecida por la ley, b) Separación propuesta y c) Separación en 5 clasificaciones. A continuación se explica cada uno de estos tipos de separación:

a) Separación establecida por la ley

Este tipo de separación se refiere a la separación de residuos sólidos que establece la LRSDF, o sea, la separación en residuos “orgánicos” (residuos de alimentos y jardinería) y residuos “inorgánicos” (los que no pertenezcan a los residuos de alimentos y jardinería) (Fig. 3.1).



Fig. 3.1 Separación de los residuos sólidos establecida por la LRSDF (PGGIRS, 2004)

b) Separación propuesta

También se maneja el término “separación propuesta”, el cual considera una separación binaria de residuos “reciclables” y “otros”.

La clasificación de los residuos “reciclables” se basa en los materiales que actualmente son “comerciables” en el D.F., o sea, aquellos materiales que se están separando y acopiando en las plantas de selección y por la pepena informal, ya que son los que cuentan actualmente con un mercado establecido, además de infraestructura para su reprocesamiento, esto basado en las Tablas 2.5 y 2.6, las cuales enlistan los residuos que son acopiados y vendidos por las plantas de selección del D.F.

Estos residuos que se están separando son solicitados a quienes los acopian en condiciones “ideales”(relativamente limpios, libres de contaminación) por parte de los compradores, lo que es casi imposible que suceda actualmente, ya que los materiales llegan “contaminados” debido a que entran muy mezclados a la planta, por lo que se acopian y venden en condiciones que, para los que los reprocesan, implican costos

extraordinarios para limpiarlos, acondicionarlos o resultan materiales de calidad inferior y esto reduce la cantidad de residuos que pueden ser vendidos y el precio de los mismos.

En la Tabla 3.1 se muestra la clasificación propuesta para los residuos “reciclables”. Esta clasificación, como se mencionó, se basa en los residuos actualmente “comerciables” en el D.F. y sus alrededores, pero tomando en cuenta los que son comúnmente generados en los domicilios.

Tabla 3.1 Materiales considerados en la clasificación “reciclables” y acondicionamiento que debe dársele

Material	Descripción	Condiciones requeridas
Aluminio	Lata, pedacería	Tratar de que estos materiales no se ensucien con residuos de comida, grasa, tierra, etc. Entregar los materiales lo más limpio posible
Cartón	Corrugado café	
Hierro / Cobre	Pedacería	
Lámina	Latas de hojalata	
Papel	Bond, periódico, color	
Plástico	PEAD, PEBD, PET	
Vidrio	Transparente, verde, ámbar	
Trapo	-	

Dentro de esta clasificación propuesta, los “otros” se refieren a aquellos residuos que no entran en la categoría de “reciclables”, o sea, el conjunto de los residuos de comida, jardín, sanitarios y aquellos residuos “inorgánicos” considerados como no comerciables.

c) Separación en 5 clasificaciones

También se utiliza el término “separación en 5 clasificaciones” y se usa para referirse a la clasificación de los residuos en: plástico, vidrio, metal, papel-cartón y otros. Esta separación se utilizó en un estudio complementario cuya finalidad es la de inferir en cuanto al comportamiento de la población al manejar tal tipo de separación, además de

ver las condiciones en las que se encontraban los residuos al ser separados de tal manera.

Es importante aclarar que para las condiciones actuales del D.F. sería prácticamente imposible adoptar este tipo de separación, debido principalmente a la dificultad que se tendría en la recolección, transferencia y manejo separado de estos residuos hasta el lugar de selección, tratamiento o aprovechamiento. Este estudio complementario básicamente proporciona una idea de cuán preparada y dispuesta se encontraba la población en el momento del estudio para practicar este tipo de separación.

3.2 Sitio de muestreo

El sitio de muestreo elegido fue la Unidad Habitacional Villa Olímpica (Fig. 3.2). La misma tiene una superficie de 101,300 m², donde se distribuyen veintinueve edificios, trece de ellos de 40 departamentos cada uno y dieciséis de ellos de 24 departamentos, sumando 904 departamentos (Anexo E).



Fig. 3.2 Vista parcial de la Unidad Habitacional Villa Olímpica

La población total de la unidad asciende a 3,800 habitantes. Villa Olímpica pertenece a un estrato socioeconómico medio, con lo cual puede representarse mejor el universo de clases, ya que es el estrato al que pertenecen la mayoría de los habitantes del D.F. Su sistema de administración es privado y con una muy buena organización, lo que aunado a que forman parte del “programa fijo de separación y recolección selectiva de residuos” apoyado por la delegación Tlalpan (separan sus residuos desde mayo de 2004), permitió informar y entrenar más efectivamente a los habitantes participantes en el estudio.

3.3 Obtención de las muestras

El estudio se realizó en tres etapas y las muestras se tomaron según el esquema que se muestra en la Figura 3.3.

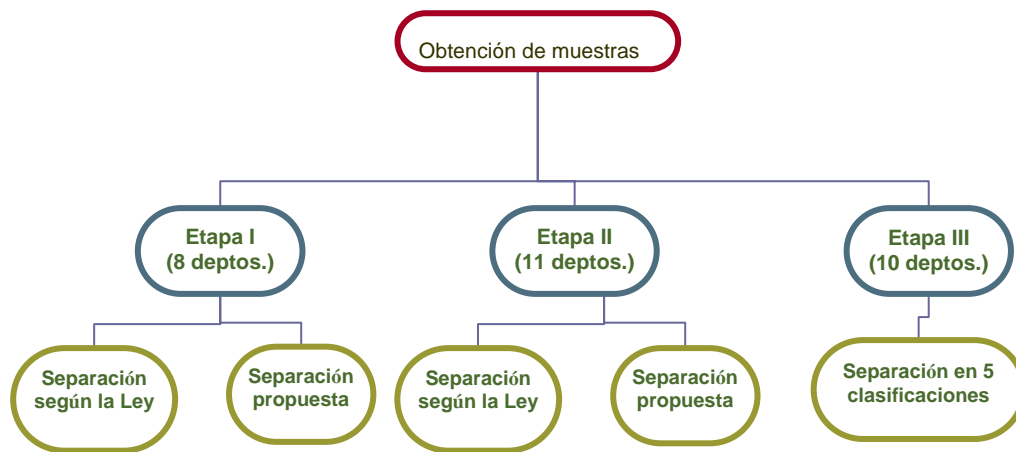


Fig. 3.3 Esquema de obtención de muestras

Para obtener las muestras de la Etapa I se eligieron 6 edificios aleatoriamente y a todos los departamentos de estos edificios se les envió un comunicado invitándolos a participar en el estudio, explicando brevemente en qué consistiría su participación y citando a los interesados a una reunión en las oficinas de la administración donde se les aclararía cualquier duda que tuvieran al respecto y dejarían sus datos, confirmando así

su participación. A esta reunión llegaron habitantes de ocho departamentos, de cinco diferentes edificios, y los mismos fueron los que integraron los participantes de la Etapa I. En esta muestra, el promedio de habitantes por departamento fue de 2.5 habitantes y la edad promedio por departamento de 52 años. La generación de residuos *per cápita* promedio obtenida en el estudio fue de 362.7 g hab⁻¹ d⁻¹. Cabe destacar que el estudio realizado no tenía como fin obtener la generación de residuos, ya que para poder conocer la generación promedio de esta unidad, sería necesario llevar a cabo un estudio de generación.

Para obtener las muestras de los participantes de la Etapa II, la administración no permitió repetir el proceso seguido durante la Etapa I. Para conservar la aleatoriedad en la selección de los participantes se procedió a repartir en la entrada única a la unidad el mismo comunicado repartido en la Etapa I, explicando también en muchos casos de manera oral en qué consistía el estudio, con la variante de que aquellos que estuvieran interesados debían confirmar su participación y/o aclarar las dudas que se le presentaran al momento de la invitación o comunicándose por vía telefónica o correo electrónico. Un total de trece departamentos confirmaron su participación en el estudio. De esos trece departamentos sólo once (pertenecientes a siete diferentes edificios) participaron realmente. En esta muestra, el promedio de habitantes por departamento fue de 3.2 habitantes y la edad promedio por departamento de 38 años. La generación de residuos *per cápita* promedio obtenida en el estudio fue de 315.6 g hab⁻¹ d⁻¹.

La Etapa III se realizó con algunos de los participantes de las etapas anteriores que aceptaron continuar en el estudio. Participaron en total diez departamentos (de ocho diferentes edificios), tres habían participado en la Etapa I y siete en la Etapa II. En esta muestra, el promedio de habitantes por departamento fue de 3 habitantes y la edad promedio por departamento de 43 años. En cuanto al máximo grado de escolaridad encontrado en los habitantes de los departamentos participantes en la Etapa III, se tuvo

que el 60% tenían grado de licenciatura, el 30% grado de maestría y el 10% se encontraba estudiando una maestría.

En este caso no se calculó la generación de residuos *per cápita* debido a que en esta etapa no se recolectaron los residuos orgánicos.

- ***Etapas I y II***

Las etapas I y II son similares, pero como se mencionó anteriormente, se realizaron con diferentes departamentos y en períodos diferentes; la etapa I con 8 departamentos, del 27 de junio al 08 de julio del 2005 y la etapa II con 1n1 departamentos, desde el 29 de agosto hasta el 09 de septiembre del 2005.

En estas etapas a los participantes se les visitaba para entregarles el material necesario y darles una explicación del tipo de separación que realizarían durante los siguientes tres días.

Para la separación según la ley se les entregaron bolsas verdes y grises, para que separaran sus residuos en “orgánicos” e “inorgánicos”, respectivamente. Se les explicó en qué consistía esta separación, además de entregarles una hoja explicativa que pudieran consultar durante su participación. La Tabla 3.2 presenta el contenido básico de dicha hoja.

Para la separación propuesta se les entregaron bolsas grises y negras para que separaran sus residuos en “reciclables” y “otros” respectivamente y se les explicó en qué consistía esta separación, además de entregarles una hoja explicativa que pudieran consultar durante su participación. En la Tabla 3.3 se presenta el contenido de esta hoja.

Cada departamento participante separó sus residuos durante tres días según como indica la ley y en la siguiente semana según la separación propuesta durante tres días también.

Las bolsas de residuos fueron recogidas (Fig. 3.4) y llevadas al laboratorio para ser analizadas.

Tabla 3.2 Contenido de la hoja explicativa entregada para consulta de los participantes acerca de la separación de los residuos según la ley

ORGÁNICOS	INORGÁNICOS
Residuos de alimentos, como:	Plástico
Pan y tortilla	Vidrio
Huesos	Papel
Restos de carne	Cartón
Cascarones de huevo	Metal
Cáscara de plátano	Textiles
Frutas y verdura	Papel de baño
Café	Pañal desechable
Residuos de jardinería, como:	Toalla sanitaria
Poda de pasto	Pilas y baterías
Hojasca	Cartuchos de impresora
Ramas	Envases de aerosoles

Tabla 3.3 Contenido de la hoja explicativa entregada para consulta de los participantes acerca de la separación de los residuos propuesta

RECICLABLES (BOLSA GRIS)	OTROS (BOLSA NEGRA)
LATAS DE ALUMINIO	Restos de comida
Latas de refresco	Restos de jardinería
Latas de jugo	Papel de baño, toallas sanitarias, pañales
CARTÓN CORRUGADO COLOR CAFÉ	Servilletas
PIEZAS DE COBRE Y FIERRO	Envases de tetrapak
Llaves, alambre, tubería, etc.	Pilas y baterías
LATAS DE HOJALATA	Plásticos como:
Latas de frijoles, verduras, atún, sardina, leche evaporada,	Charolas de carne y vegetales
leche condensada, etc.	Platos, vasos y cubiertos
PAPEL (algunos)	Envases de sopas instantáneas
Papel periódico	Envases de mantequilla
Papel bond (de oficina)	Bolsas de botanas
Papel de color	Envases pequeños de yogur y crema
VIDRIO	
Botellas, envases y frascos	
TRAPO	
PLÁSTICO (PET Y POLIETILENO)	
• PET	
Botellas de refresco	
Botellas de agua, botellas de vinagre	
• POLIETILENO	
Botellas plásticas de leche y jugo	
Envases de detergente líquido	
Envases grandes de yogur y crema	
Envases de yogur líquido	
Bolsas	



Fig. 3.4 Recolección de bolsas

- *Etapa III*

Para la tercera etapa, o sea, la separación en 5 clasificaciones, realizada del 26 de septiembre hasta el 04 de octubre, se les entregó a los participantes: un contenedor azul rotulado para depositar el vidrio, un contenedor amarillo rotulado para depositar el plástico, un contenedor anaranjado rotulado para depositar el metal, bolsas blancas para depositar el papel y bolsas grises para depositar los “otros” (Fig. 3.5).

Se les explicó en qué consistía esta separación, además de entregarles una hoja explicativa que pudieran consultar durante su participación. En la Tabla 3.4 se presenta el contenido de esta hoja.

Tabla 3.4 Contenido de la hoja explicativa entregada para consulta de los participantes acerca de la separación en 5 clasificaciones

Contenedor <u>AZUL</u>		VIDRIO: botellas, envases y frascos de vidrio
Contenedor <u>AMARILLO</u>		<p>PLÁSTICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET Botellas de refresco Botellas de agua, botellas de vinagre • POLIETILENO Botellas plásticas de leche y jugo Envases de detergente líquido Envases grandes de yogur y crema Envases de yogur líquido Bolsas
Contenedor <u>NARANJA</u>		<p>METAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ALUMINIO Latas de refresco y de jugo • HOJALATA Latas de frijoles, verduras, atún, sardina, leche evaporada, leche condensada, etc. • COBRE Y HIERRO Llaves, alambres, piezas de cobre o hierro
Bolsa <u>BLANCA</u>		<p>PAPEL Y CARTÓN:</p> <p>Papel periódico Papel bond (de oficina) Papel de color Cartón corrugado color café</p>
Bolsa <u>GRIS</u>		Todo lo INORGÁNICO que no entre en las clasificaciones anteriores

Cada departamento participante separó sus residuos en las 5 clasificaciones indicadas durante una semana completa.

Las bolsas de residuos fueron recogidas y llevadas al laboratorio para ser analizadas.



Fig. 3.5 Entrega de material para la etapa III

3.4 Aplicación de encuestas

Se aplicó una encuesta (Fig. 3.6) a cada departamento participante en el estudio con la finalidad de investigar las impresiones de la población en cuanto al grado de dificultad de cada modo de separación, los inconvenientes o dudas que mayormente se presentaron y la disposición que tenían para separar de las diferentes maneras. La misma se aplicaba al concluir la recolección de las muestras.



Fig. 3.6 Aplicación de encuestas

3.5 Análisis de las muestras

3.5.1 Análisis en el laboratorio

Luego de que las muestras eran recolectadas, se les transportaba directamente a los laboratorios de la UNAM y allí se almacenaban hasta el siguiente día, cuando se analizaban.

El análisis de las muestras recolectadas se realizó con el objetivo básico de:

- Analizar las eficiencias de separación. Para esto se procedió a revisar cada bolsa minuciosamente, con el objetivo de identificar los residuos que no pertenecieran a la clasificación de la bolsa analizada (Fig. 3.7).



Fig. 3.7 Análisis de muestras en el laboratorio

- Determinar la proporción de residuos “comerciables” encontrados tanto en la bolsa de los “inorgánicos” como la de los “reciclables” o las clasificaciones “vidrio, plástico, metal y papel-cartón” de la tercera etapa y determinar las condiciones en las que se encontraban (si eran o no “ideales”). Para esto se procedió a revisar las bolsas de las clasificaciones anteriormente mencionadas y separar los materiales “comerciables” y, a su vez, estos clasificarlos de acuerdo a si cumplían o no las especificaciones de las empresas recicladoras para ser considerados como materiales en condiciones “ideales” (Fig. 3.8).



Fig. 3.8 Análisis de muestras en el laboratorio

El equipo que se utilizó fue una balanza de 20 kilogramos de capacidad, con precisión de 0.1 gramos.

3.5.2 Análisis estadístico de los datos obtenidos

Se aplicaron a los datos de laboratorio varios procedimientos estadísticos para conocer las características del comportamiento de los parámetros medidos. Se aplicó la prueba de igualdad de medias de Wilcoxon para verificar si había diferencias en las poblaciones de las Etapas I y II (Montgomery, 2002). Para ver si esta prueba no paramétrica podía ser aplicada, se verificaron los supuestos de normalidad, independencia e igualdad de varianzas. Para los datos de la Etapa III se verificaron los supuestos de normalidad e independencia. Además, se encontró un intervalo de confianza para cada parámetro estudiado en cada etapa.

3.5.2.1 Normalidad

Para todas las clasificaciones de residuos estudiadas se analizó el porcentaje de residuos clasificados en forma correcta y para el caso de los “inorgánicos”, “reciclables”, “vidrio”, “plástico”, “metal” y “papel-cartón” se analizaron también el porcentaje de “comerciables” que contenían y el porcentaje de los mismos que se encontraban en condiciones “ideales”. Por su naturaleza (entre 0 y 1, no está centrada sobre el 50%), estos datos no corresponden a una variable aleatoria normal. Asimismo, el número de elementos incluidos en las muestras se encontró en todos los casos entre 8 y 11 departamentos, por lo cual no se puede suponer normalidad a partir del teorema del límite central. Por esta razón, no es posible usar técnicas paramétricas para llegar a una conclusión estadística; todos los métodos seleccionados fueron no paramétricos (Montgomery, 2002).

3.5.2.2 Independencia

Es conveniente realizar un análisis de los residuales antes de proceder a hacer un análisis de varianza, con el fin de revisar si existe o no correlación de los resultados, por lo que se realizaron gráficas de residuales en el tiempo. Para esto, se ordenaron las muestras (conjunto de bolsas) en el orden que fueron analizadas y se determinó el residual para cada parámetro estudiado en cada elemento de la muestra con la ecuación 3.1:

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Estos residuales se graficaron en forma secuencial para cada elemento de la muestra (cada bolsa) y para cada una de las etapas, y se pudo corroborar independencia entre las muestras analizadas en cada uno de los casos (Montgomery y Runger, 2002).

3.5.2.3 Igualdad de varianzas

Para ver si dos poblaciones son iguales, es importante corroborar la igualdad de varianzas antes de hacer la prueba de igualdad de medias. Para poblaciones normales, se puede usar la prueba paramétrica de Bartlett; sin embargo, como se explicó en el inciso 3.5.2.1, las poblaciones estudiadas no se pueden considerar normales, por lo tanto, se debe usar un procedimiento no paramétrico. Para analizar la igualdad de varianzas se aplicó la prueba de Levene modificada, que realiza un análisis de varianzas considerando la desviación absoluta de las observaciones Z_{ij} de cada tratamiento con respecto a la mediana de los tratamientos (Djolv, 2002; Montgomery y Runger, 2002). Para realizar esta prueba se halla el estadístico L (Ecuación 3.2) y se compara al valor de tabla del valor crítico $F(\alpha, k-1, N-k)$:

$$L = [(N-k)/(k-1)] * \left[\left(\sum_{i=1}^k N_i (Z_{iz} - ZG)^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - Z_{iz})^2 \right) \right] \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

donde:

$Z_{ij} = |A_{ij} - \tilde{A}_i|$, siendo A_{ij} los valores de cada etapa y \tilde{A}_i la mediana de esa etapa

Z_{iz} = Promedio de los valores de cada etapa

ZG = Promedio de los valores de ambas etapas

Si el valor de L resulta menor al valor crítico $F(\alpha, k-1, N-k)$, entonces se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales.

3.5.2.4 Igualdad de medias

Se usó la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para probar la hipótesis $H_0: \mu_1 = \mu_2$, es decir, para probar la igualdad de las medias de la etapa I y la etapa II. Para realizar esta prueba se procedió a ordenar las observaciones en orden ascendente y se le asignaron rangos. A partir de esto se calculó el estadístico w_1 , que corresponde al valor menor de la suma de rangos de las muestras y w_2 que corresponde al valor mayor de la

suma de rangos de las muestras y que se halló a partir de la ecuación 3.2 (Montgomery, 2002).

$$w_2 = [(n_1 + n_2) (n_1 + n_2 + 1)/2] - w_1 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Estos valores (w_1 y w_2) se compararon con el valor de tabla w_α y en todos los casos fueron valores mayores al mismo, por lo que se aceptó la hipótesis nula.

3.5.2.5 Intervalo de confianza

Conocer el intervalo de confianza para un parámetro poblacional a través del estadístico medido es de gran utilidad, ya que permite conocer el intervalo dentro del cual cabría esperar que el valor del mismo estuviera incluido con una confianza de $100(1-\alpha)$ por ciento de las veces. Para datos no paramétricos, como es el caso, no se encontraron ecuaciones para hallar el intervalo de confianza. Si este intervalo se hallara con las ecuaciones dadas para datos paramétricos, proporcionaría un intervalo de valores cercanos a los verdaderos, pero más cerrados que los mismos. Otra manera de tener una idea de los límites del intervalo de confianza es usar los percentiles correspondientes a α y $(1-\alpha/2)$, para encontrar un intervalo de confianza aproximado.

3.6 Observaciones

Durante la ejecución del estudio de campo se tuvo en general una respuesta satisfactoria de los participantes, ya que sólo en contadas ocasiones no se entregaron las muestras por razones ajenas a la voluntad del participante.

No se tuvo ningún contratiempo durante la ejecución del estudio, ni hubo desviaciones en la metodología presentada.

En el laboratorio se verificó que la balanza usada estuviera calibrada en cada ocasión que se usó, por lo que se considera que los resultados obtenidos son confiables.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Tras analizar en el laboratorio las muestras obtenidas de cada etapa del estudio de campo, se obtuvieron resultados cuantitativos que reflejan los parámetros que querían medirse para poder hacer comparaciones entre los tipos de separación manejados y con ello lograr los objetivos del estudio (Anexo A).

En el presente capítulo se presentan los análisis estadísticos realizados a los parámetros obtenidos con base en los análisis hechos en el laboratorio y las evaluaciones de los mismos.

4.1 Análisis estadístico de las muestras

Básicamente con el fin de comprobar la independencia de los datos y verificar si los mismos pueden ser considerados como provenientes de una misma población (en el caso de las Etapas I y II), se aplicaron pruebas estadísticas a cada parámetro estudiado. En el presente inciso se presentan, para ejemplificar la metodología, los resultados de las pruebas efectuadas a los residuos “orgánicos”. Para las otras clasificaciones se siguió la misma metodología. Se resumen los resultados de las pruebas aplicadas a los residuos “inorgánicos”, “otros”, “reciclables”, “vidrio”, “plástico”, “metal” y “papel-cartón” después de la ejemplificación.

4.1.1 “Orgánicos”

4.1.1.1 Independencia

Se realizaron pruebas de independencia a los datos de obtenidos en laboratorio del porcentaje realmente “orgánico” de la bolsa de los “orgánicos”, tanto de la Etapa I como de la Etapa II. En las Figuras 4.1 y 4.2 se puede ver que los residuales graficados no tienen ninguna tendencia con respecto al tiempo, por lo que no se sospecha de ninguna violación al supuesto de independencia.

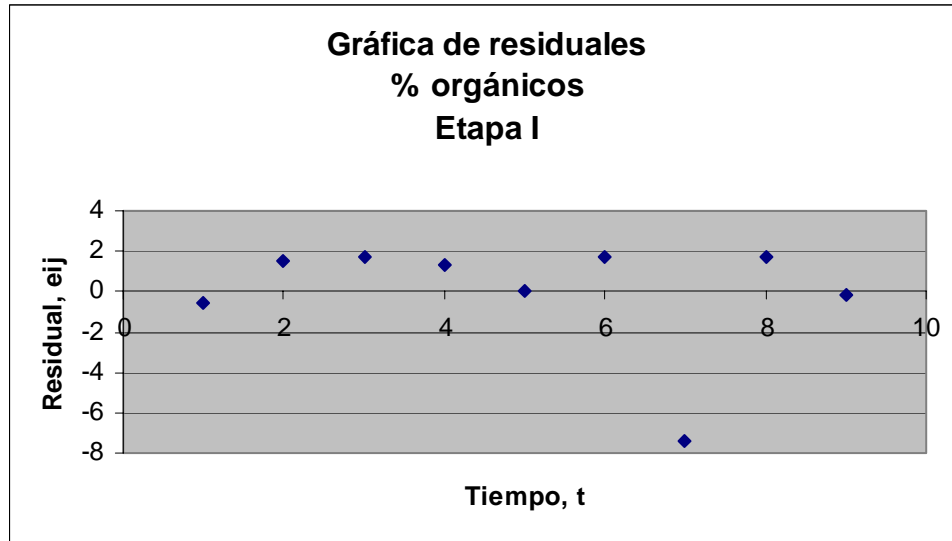


Fig. 4.1 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje real de "orgánicos" en la bolsa de los "orgánicos", Etapa I

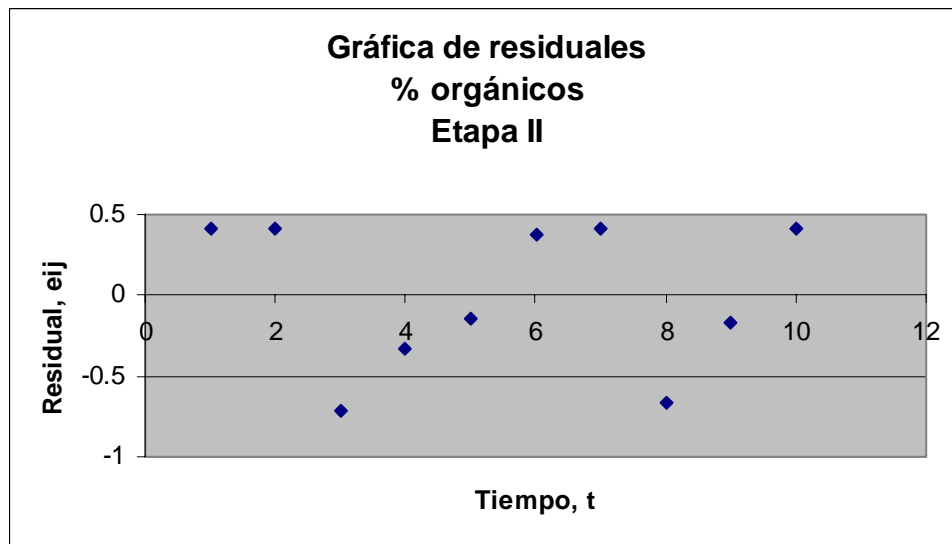


Fig. 4.2 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje real de "orgánicos" en la bolsa de los "orgánicos", Etapa I

4.1.1.2 Igualdad de varianzas

Se verificó si en el parámetro medido, porcentaje real de “orgánicos” en la bolsa de los “orgánicos”, existía igualdad de varianzas, con el fin de determinar, conjuntamente con una prueba de igualdad de medias, si las muestras analizadas podrían considerarse como provenientes de una misma población. Para ello se recurrió a la prueba de Levene modificada (Anexo B.2) y los resultados de la misma se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resultados de la prueba de Levene modificada para el parámetro porcentaje real de “orgánicos” en la bolsa de los “orgánicos” de las Etapas I y II

$L = 3.135$
$F_{0.05,1,16} = 4.49$
$L < F$
$3.14 < 4.49$
Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales

En la Tabla 4.1 se observa que el valor de L es menor que el valor de $F_{0.05,1,16}$, lo que significa que las varianzas de ambas etapas se consideran iguales. Con este supuesto comprobado se puede dar paso a la prueba de igualdad de las medias.

4.1.1.3 Igualdad de medias

Para determinar si los parámetros estudiados en las diferentes etapas pueden ser considerados como provenientes de una sola población, se aplicó la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon, que determina si existe igualdad entre las medias (Anexo B.3). Los resultados de dicha prueba se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Resultados de la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para el parámetro porcentaje real de "orgánicos" en la bolsa de los "orgánicos" de las Etapas I y II

Para $n_1=8$ y $n_2=10$,	
$W_{0.05} = 53$	
$w_1 =$	65
$w_2 =$	106
w_1 y $w_2 > W_{0.05}$	
65 y 106 > 53	
Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de que las medias son iguales	

Como se puede apreciar en la Tabla 4.2, las medias de ambas etapas se consideran iguales, por lo que los datos obtenidos pueden ser considerados como provenientes de una misma población y ser analizados conjuntamente.

4.1.2 "Inorgánicos"

En la Tabla 4.3 se resumen los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los parámetros medidos de los residuos "inorgánicos".

Tabla 4.3 Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los parámetros porcentaje de comerciables en bolsa de "inorgánicos" y porcentaje de comerciables "ideales" en bolsa de "inorgánicos", para las Etapas I y II

	% de comerciables en bolsa de "inorgánicos" de las Etapas I y II		% de comerciables "ideales" en bolsa de "inorgánicos" de las Etapas I y II	
Prueba	Valores	Conclusión	Valores	Conclusión
Independencia (Anexo B.1)	-	Los datos son independientes	-	Los datos son independientes
Levene modificada (Anexo B.2)	$L < F_{0.05,1,15}$ 0.0417 < 4.54	Las varianzas son iguales	$L < F_{0.05,1,15}$ 0.672 < 4.54	Las varianzas son iguales
Suma de rangos de Wilcoxon (Anexo B.3)	w_1 y $w_2 > w_{0.05}$ 85.5 y 67.5 > 51	Las medias son iguales	w_1 y $w_2 > w_{0.05}$ 86.5 y 66.5 > 51	Las medias son iguales
Conclusión general	Los datos obtenidos pueden considerarse como provenientes de una misma población		Los datos obtenidos pueden considerarse como provenientes de una misma población	

4.1.3 "Otros"

En la Tabla 4.4 se resumen los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas al parámetro medido de los residuos pertenecientes a la clasificación de "otros".

Tabla 4.4 Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas al parámetro porcentaje de "otros" en bolsa de "otros" para las Etapas I y II

		% de "otros" en bolsa de "otros" de las Etapas I y II
Prueba	Valores	Conclusión
Independencia (Anexo B.1)	-	Los datos son independientes
Levene modificada (Anexo B.2)	$L < F_{0.05,1,16}$ $0.0051 < 4.54$	Las varianzas son iguales
Suma de rangos de Wilcoxon (Anexo B.3)	$w_1 \text{ y } w_2 > w_{0.05}$ $76 \text{ y } 95 > 53$	Las medias son iguales
Conclusión general	Los datos obtenidos pueden considerarse como provenientes de una misma población	

4.1.4 "Reciclables"

En la Tabla 4.5 se resumen los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los parámetros medidos de los residuos pertenecientes a la clasificación de "reciclables".

Tabla 4.5 Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los parámetros porcentaje de “comerciables” en bolsa de “reciclables” y porcentaje de “comerciables ideales” en bolsa de “reciclables”, para las Etapas I y II

	% de comerciables en bolsa de "inorgánicos" de las Etapas I y II		% de comerciables "ideales" en bolsa de "inorgánicos" de las Etapas I y II	
Prueba	Valores	Conclusión	Valores	Conclusión
Independencia (Anexo B.1)	-	Los datos son independientes	-	Los datos son independientes
Levene modificada (Anexo B.2)	$L < F_{0.05,1,16}$ 1.9546 < 4.49	Las varianzas son iguales	$L < F_{0.05,1,16}$ 0.5743 < 4.49	Las varianzas son iguales
Suma de rangos de Wilcoxon (Anexo B.3)	$w_1 \text{ y } w_2 > w_{0.05}$ 74 y 97 > 53	Las medias son iguales	$w_1 \text{ y } w_2 > w_{0.05}$ 77 y 94 > 53	Las medias son iguales
Conclusión general	Los datos obtenidos pueden considerarse como provenientes de una misma población		Los datos obtenidos pueden considerarse como provenientes de una misma población	

4.1.5 “Vidrio”, “plástico”, “metal”, “papel-cartón” y “otros” (Etapa III)

Debido a que los datos obtenidos en la Etapa III son provenientes de una misma muestra poblacional, sólo se procedió a verificar el supuesto de independencia de los parámetros analizados para los mismos. En todos los casos se verificó que los datos eran independientes (Anexo B.1).

4.2 Evaluación de resultados

En el presente apartado se presenta la evaluación de los resultados obtenidos del análisis de los parámetros medidos para cada clasificación estudiada.

Estos resultados son presentados en tablas que resumen los datos más relevantes y en gráficas que ilustran de mejor manera la eficiencia de separación obtenida y la proporción encontrada de comerciables en las bolsas de los “inorgánicos” y “reciclables”, además de las condiciones en que se encontraban dichos comerciables.

4.2.1 “Orgánicos”

De los residuos entregados como “orgánicos” se analizó básicamente el porcentaje real de los mismos que se encontraban en la bolsa de los “orgánicos”, es decir, la eficiencia de separación obtenida.

En la Tabla 4.6 se presentan los porcentajes de los residuos realmente “orgánicos” encontrados en la bolsa de los “orgánicos” y la media de los mismos. Estos resultados pertenecientes a las Etapas I y II son presentados conjuntamente debido a que, como se mencionó en el inciso 4.1.1.3, los datos obtenidos pueden ser considerados como provenientes de una misma población.

Tabla 4.6 Resumen de resultados de las bolsas de los “orgánicos”

Depto.	% real de “orgánicos” en la bolsa de “orgánicos”
a	97.79
b	99.87
c	100.00
d	98.31
e	100.00
f	90.94
g	100.00
h	98.16
i	100.00
j	100.00
k	98.88
l	99.25
m	99.44
n	99.96
o	100.00
p	98.92
q	99.42
r	100.00
Promedio	98.94

En la Fig. 4.3 puede notarse que tan sólo un 1.06% de los residuos pertenecientes a las bolsas verdes, o sea, las bolsas de los “orgánicos”, no pertenecía a dicha clasificación (eran “inorgánicos”) y que un 98.94% eran residuos realmente “orgánicos”. Esto indica que en la población muestreada, la eficiencia promedio de separación de los residuos “orgánicos” fue de un 98.94%.

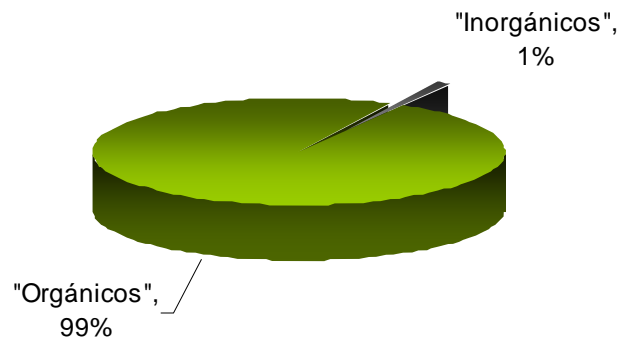


Fig. 4.3 Proporción de “inorgánicos” en las bolsas de “orgánicos”

Se halló el intervalo de confianza para la media poblacional de dos maneras, una de ellas de la forma paramétrica y la otra a través de los percentiles 2.5 y 97.5, recordando que el intervalo paramétrico proporciona límites más cerrados que el hallado a través de percentiles. La Tabla 4.7 presenta los intervalos hallados.

Tabla 4.7 Intervalos de confianza para el porcentaje real de “orgánicos” en la bolsa de los “orgánicos” para las Etapas I y II

Intervalos de confianza para $\alpha = 95\%$	
Paramétrico (%)	Percentiles 2.5 y 97.5 (%)
$98 < x < 100$	$94 < x < 100$

Esto significa que el porcentaje real de “orgánicos” en la bolsa de los “orgánicos”, es decir, la eficiencia de separación de los residuos “orgánicos”, es de un mínimo de 94%. Esta eficiencia tan alta era de esperarse, ya que como se mencionó, los habitantes de este habitacional pertenecen al “programa fijo de separación y recolección selectiva de residuos”, lo que significa que separan sus residuos como indica la LRSDF desde mayo de 2004.

4.2.2 “Inorgánicos”

De los residuos entregados como “inorgánicos” (cuya eficiencia de separación fue de un 100% en cada una de las muestras) se analizó básicamente la proporción de residuos “comerciables” en los mismos y la condición (si eran “ideales” o no) en la que se encontraban dichos residuos “comerciables”.

En la Tabla 4.8 se presentan los porcentajes de los residuos comerciables hallados en las bolsas de los “inorgánicos”, los porcentajes de dichos comerciables que se encontraban en condiciones “ideales” y el promedio de los mismos. Estos resultados pertenecientes a las Etapas I y II son presentados conjuntamente debido a que, como se mencionó en el inciso 4.1.2, los datos obtenidos pueden ser considerados como provenientes de una misma población.

En la Fig. 4.4 se distingue que sólo el 38% de los residuos “inorgánicos” eran “comerciables”, o sea, que sólo el 38% podría ser acopiado y vendido en la actualidad para su reciclaje en el D.F. o sus alrededores.

Tabla 4.8 Resumen de resultados de las bolsas de los "inorgánicos"

Depto.	% de comerciables en bolsa de "inorgánicos"	% de comerciables "ideales" en bolsa de "inorgánicos"
a	39.40	5.67
b	65.15	18.32
c	54.63	12.34
d	58.97	41.76
e	16.87	3.61
f	62.24	49.73
g	21.17	0.00
h	43.38	10.26
i	6.10	0.00
j	21.17	18.15
k	40.31	11.03
l	9.86	3.54
n	27.94	0.37
o	54.72	34.76
p	18.38	0.00
q	67.07	9.50
r	38.41	0.00
Promedio	37.99	12.89

La condición del porcentaje "comerciable" en los "inorgánicos" se desglosa en la Fig. 4.5, donde se aprecia que menos de la mitad de estos residuos (34%) se encontraron en condiciones ideales, o sea, que podrían acopiarse y venderse como materiales de primera.

En la Fig. 4.6 se presenta la condición general de los "inorgánicos", donde se ve que tan sólo el 13% de los mismos son residuos "comerciables" en condiciones ideales.

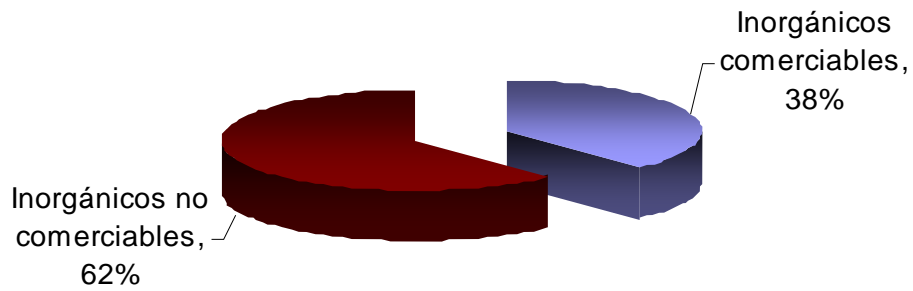


Fig. 4.4 Proporción de "comerciables" en las bolsas de "inorgánicos"

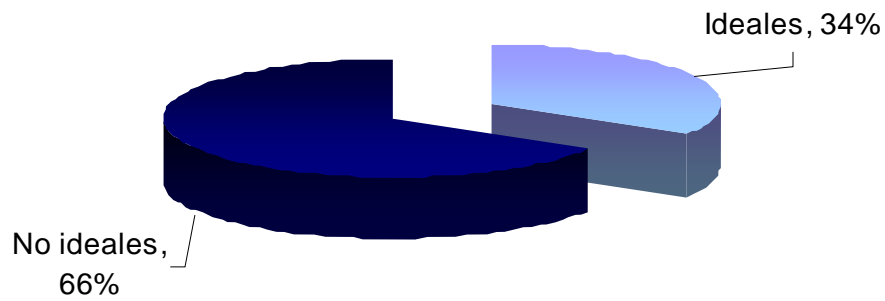


Fig. 4.5 Condición de los "comerciables" en las bolsas de "inorgánicos"

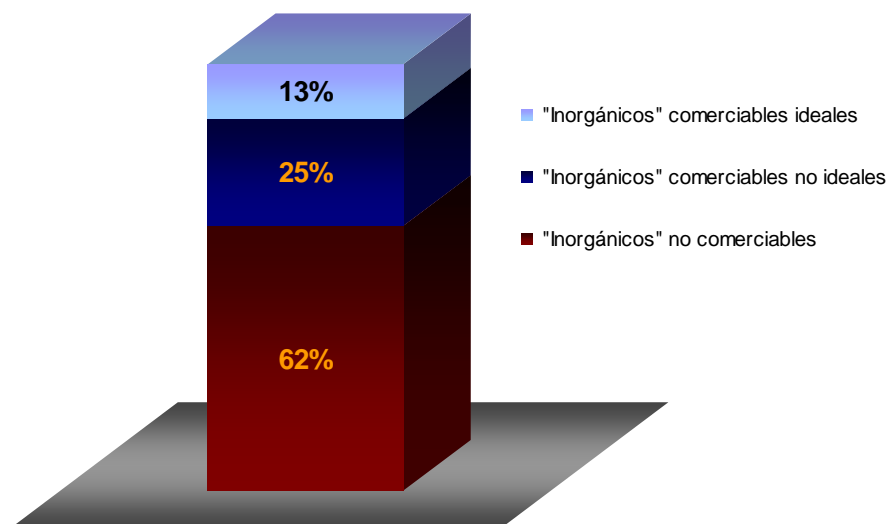


Fig. 4.6 Condición general de las bolsas de "inorgánicos"

Se hallaron los intervalos de confianza para estos datos y los mismos se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Intervalos de confianza para el porcentaje de “comerciables” y “comerciables ideales” en la bolsa de los “inorgánicos” para las Etapas I y II

Intervalos de confianza para $\alpha = 95\%$		
	Paramétrico (%)	Percentiles 2.5 y 97.5 (%)
Comerciables (%)	$28 < x < 48$	$7 < x < 66$
Comerciables ideales (%)	$6 < x < 20$	$0 < x < 47$

Estos intervalos de confianza para la proporción de “comerciables” y “comerciables ideales” en la clasificación de los “inorgánicos” es muy amplio; esto se debe a la gran dispersión existente entre los datos obtenidos en las muestras (ver Tabla 4.8).

Aunque la eficiencia de separación de los “inorgánicos” fue de un 100%, lo que indica que la población está debidamente informada para la separación entre residuos orgánicos e inorgánicos, la proporción máxima de los mismos que podría aprovecharse de manera óptima es de menos de un 50%, cantidad que de aumentar implicaría una mayor eficiencia de separación en las plantas de selección y, por lo tanto, una mayor cantidad de residuos recuperados para su aprovechamiento. Esta mejora en la cantidad de residuos “comerciables ideales” se puede lograr haciéndole ajustes a las clasificaciones para la separación de residuos (en una primera etapa, por ejemplo, “reciclables”/“otros” en vez de “orgánicos”/“inorgánicos”) e informándole a la población de forma extensiva y constante sobre esta propuesta de separación.

4.2.3 “Otros”

De los residuos entregados como “otros” se analizó básicamente el porcentaje real de los mismos que se encontraban en la bolsa de los “otros”, es decir, la eficiencia de separación obtenida.

En la Tabla 4.10 se presentan los porcentajes de los residuos realmente pertenecientes a la clasificación de “otros” encontrados en la bolsa de los “otros” y el promedio de los mismos. Estos resultados pertenecientes a las Etapas I y II son presentados conjuntamente debido a que, como se mencionó en el inciso 4.1.3, los datos obtenidos pueden ser considerados como provenientes de una misma población.

Tabla 4.10 Resumen de resultados de las bolsas de los “otros”

Depto.	% real de “otros” en la bolsa de “otros”
a	97.83
b	69.15
c	96.25
d	100.00
e	100.00
f	100.00
g	100.00
h	66.90
j	100.00
k	69.33
l	87.59
m	70.39
n	100.00
o	100.00
p	80.04
q	92.85
r	100.00
s	100.00
Promedio	90.57

En la Fig. 4.7 puede notarse que, en promedio, sólo un 9% de los residuos pertenecientes a las bolsas negras, o sea, las bolsas de los “otros”, no pertenecía a dicha clasificación (pertenecían a los “reciclables”) y que un 91% eran residuos que realmente pertenecían a la clasificación de “otros”. Esto indica que en las muestras, la eficiencia de separación de la clasificación “otros” fue de un 91%.

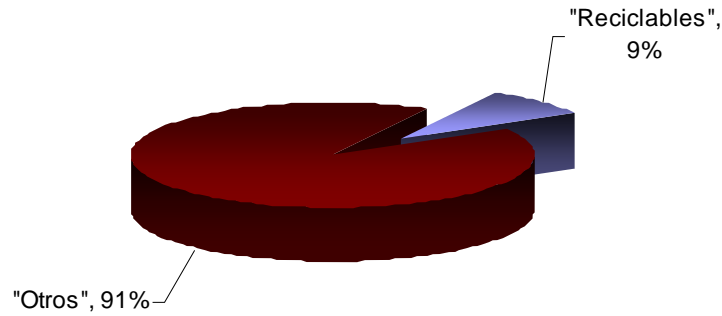


Fig. 4.7 Proporción de "reciclables" en las bolsas de "otros"

Se hallaron los intervalos de confianza para estos datos y los mismos se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Intervalos de confianza para el porcentaje real de "otros" en la bolsa de los "otros" para las Etapas I y II

Intervalos de confianza para $\alpha = 95\%$	
Paramétrico (%)	Percentiles 2.5 y 97.5 (%)
$85 < x < 97$	$68 < x < 100$

Debido a la gran dispersión existente entre los datos obtenidos en las muestras (ver Tabla 4.10), los intervalos de confianza hallados para el porcentaje real de "otros" en la clasificación de los "otros" son más amplios que para la clasificación de "orgánicos", indicando que la población separara mejor los residuos "orgánicos" de los "inorgánicos", que los "otros" de los "reciclables".

4.2.4 "Reciclables"

De los residuos entregados como "reciclables" se analizó básicamente la proporción de residuos "comerciables" en los mismos y la condición (si eran "ideales" o no) en la que se encontraban dichos residuos "comerciables".

En la Tabla 4.12 se presentan los porcentajes de los residuos comerciables hallados en las bolsas de los "reciclables" (que en este caso representaría también la eficiencia de separación), los porcentajes de dichos comerciables que se encontraban en condiciones "ideales" y el promedio de los mismos. Estos resultados pertenecientes a las Etapas I y II

son presentados conjuntamente debido a que, como se mencionó en el inciso 4.1.2, los datos obtenidos pueden ser considerados como provenientes de una misma población.

Tabla 4.12 Resumen de resultados de las bolsas de los "reciclables"

Depto.	% de comerciables en bolsa de "reciclables"	% de comerciables "ideales" en bolsa de "reciclables"
a	12.77	0.00
b	55.60	55.60
c	65.79	57.98
d	10.98	10.82
e	85.87	84.01
f	92.33	87.61
g	73.20	66.90
h	4.50	0.00
j	74.87	74.87
k	47.53	28.44
l	25.50	18.44
m	37.36	22.57
n	15.88	11.49
o	72.64	60.81
p	77.76	13.98
q	80.73	80.73
r	52.61	23.69
s	56.52	56.52
Promedio	52.36	41.91

En la Fig. 4.8 se distingue que aunque se esperaba encontrar un 100% de "comerciables" en las bolsas de los "reciclables", sólo el 52% lo era.

La condición del porcentaje "comerciable" en los "reciclables" se desglosa en la Fig. 4.9, donde se aprecia una alta proporción (80%) de estos residuos que se encontraban en condiciones ideales, o sea, que podrían acopiarse y venderse como materiales de primera.

En la Fig. 4.10 se presenta la condición general de los "reciclables", donde se aprecia que el 42% de los mismos son residuos "comerciables" en condiciones ideales. Esto

representa un incremento del 39% en comparación de las bolsas de los "inorgánicos", y este porcentaje podría incrementarse aún más si se lograra una mayor eficiencia de separación de los "reciclables".

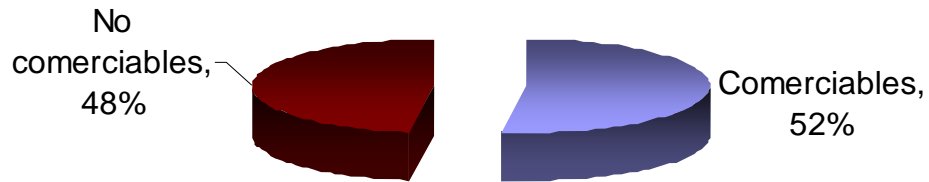


Fig. 4.8 Proporción de "comerciables" en las bolsas de "reciclables"

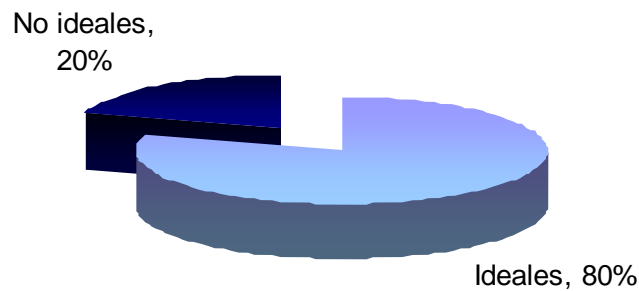


Fig. 4.9 Condición de los "comerciables" en las bolsas de los "reciclables"

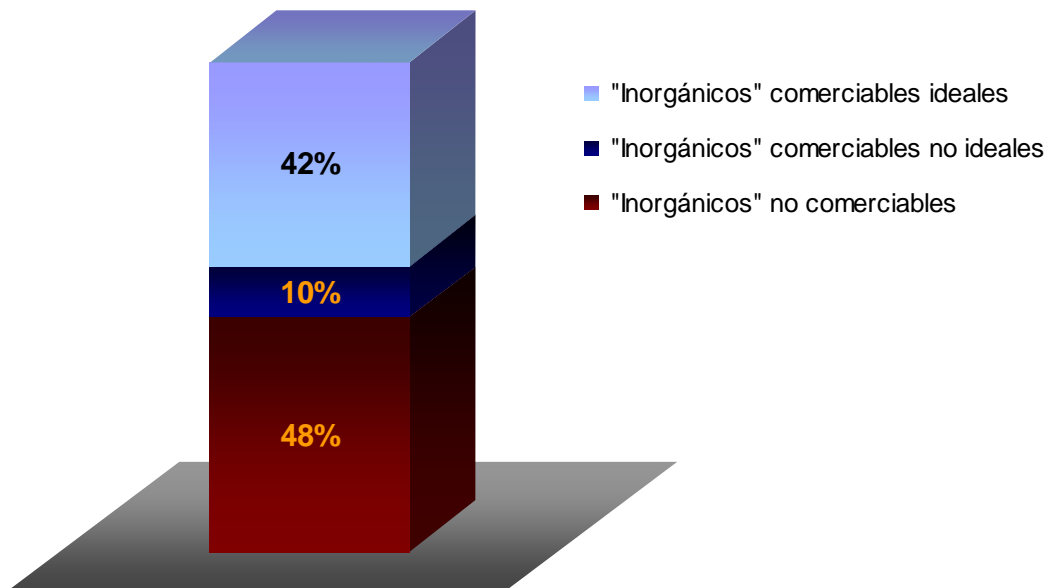


Fig. 4.10 Condición general de las bolsas de "reciclables"

Se halló el intervalo de confianza para estos datos calculando los percentiles 2.5 y 97.5. La Tabla 4.13 presenta los intervalos hallados.

Tabla 4.13 Intervalos de confianza para el porcentaje real de “comerciables” y “comerciables ideales” en la bolsa de los “reciclables” para las Etapas I y II

Intervalos de confianza para $\alpha = 95\%$		
	Paramétrico (%)	Percentiles 2.5 y 97.5 (%)
Comerciables (%)	$39 < x < 65$	$7 < x < 90$
Comerciables ideales (%)	$28 < x < 66$	$0 < x < 86$

Estos intervalos de confianza para la proporción de “comerciables” y “comerciables ideales” en la clasificación de los “reciclables” son muy amplios, lo cual se debe a la gran dispersión existente entre los datos obtenidos en las muestras (ver Tabla 4.12).

Aunque la eficiencia de separación de los “reciclables” fue relativamente baja, la proporción máxima de los mismos que podría aprovecharse de manera óptima es de un 86%, porcentaje considerablemente mayor que el porcentaje máximo de materiales que podrían ser aprovechados de manera óptima en los “inorgánicos”. Este porcentaje podría incrementarse si se logra familiarizar a las personas con este tipo de separación, lo que implicaría una mayor eficiencia de separación en las plantas de selección y, por lo tanto, una mayor cantidad de residuos recuperados para su aprovechamiento.

4.2.5 Evaluación de resultados de la Etapa III

De los residuos entregados como “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” se analizó básicamente la proporción de residuos “comerciables” en los mismos y la condición (si eran ideales o no) en la que se encontraban dichos “comerciables”.

En la Tabla 4.14 se presentan los porcentajes de los residuos comerciables hallados en las bolsas del “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” (que en este caso representaría también la eficiencia de separación), los porcentajes de dichos comerciables que se encontraban en condiciones “ideales” y el promedio de los mismos.

En la Fig. 4.11 puede apreciarse que aunque se esperaba encontrar un 100% de “comerciables” en las bolsas de “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón”, se encontró un 69%.

La condición del porcentaje “comerciable” en las bolsas de “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” se desglosa en la Fig. 4.12, donde se nota que una muy alta proporción (97%) de estos residuos se encontraban en condiciones ideales, o sea, que podrían acopiarse y venderse como materiales de primera.

Tabla 4.14 Resumen de resultados de las bolsas de “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón”

Bolsa	Depto.	% comerciables	% comerciables ideales
1	c	64.50	52.26
2	e	83.94	83.94
3	g	75.78	75.52
4	j	98.28	98.21
5	k	45.44	45.23
6	l	50.35	47.66
7	m	73.36	73.10
8	p	80.31	73.01
9	q	90.79	90.79
10	s	26.34	26.34
Promedio		68.91	66.60

En la Fig. 4.13 se presenta la condición general del “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón”, donde se ve que el 67% de los mismos son residuos “comerciables” en condiciones ideales.

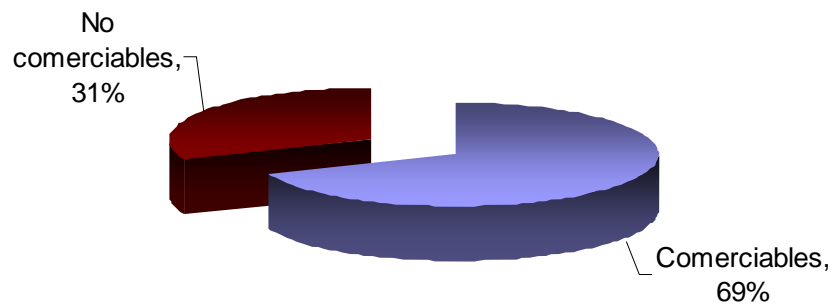


Fig. 4.11 Proporción de "comerciables" en las bolsas de "vidrio", "metal", "plástico" y "papel-cartón"

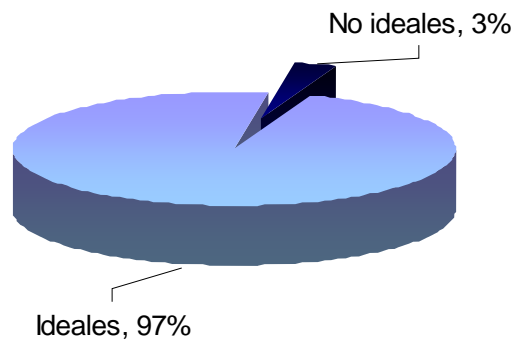


Fig. 4.12 Condición de los comerciables en las bolsas de "vidrio", "metal", "plástico" y "papel-cartón"

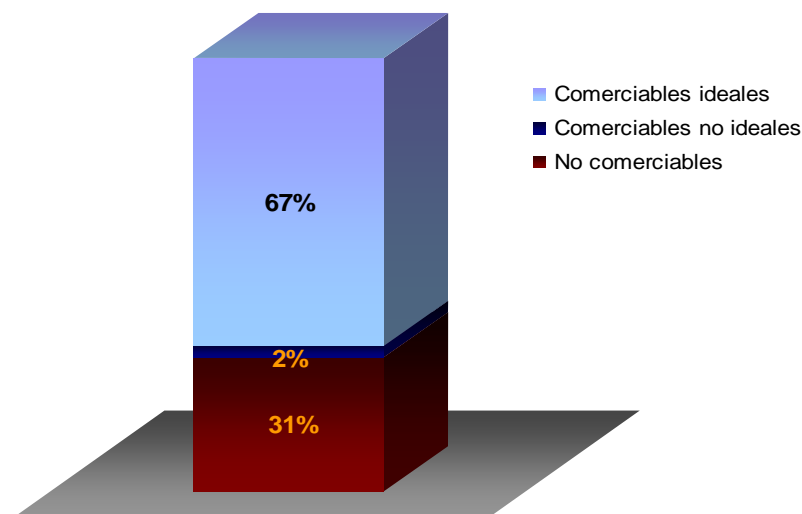


Fig. 4.13 Condición general de las bolsas de "vidrio", "metal", "plástico" y "papel-cartón"

Se hallaron los intervalos de confianza para estos datos y los mismos se presentan en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Intervalos de confianza para la proporción de “comerciables” y “comerciables ideales” en las bolsas de “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” de la Etapa III

Intervalos de confianza para $\alpha = 95\%$		
	Paramétrico (%)	Percentiles 2.5 y 97.5 (%)
Comerciables (%)	$55 < x < 83$	$31 < x < 97$
Comerciables ideales (%)	$52 < x < 81$	$31 < x < 97$

Estos intervalos de confianza son muy amplios, lo cual se debe a la gran dispersión existente entre los datos obtenidos en las muestras (ver Tabla 4.14). Es notorio que los tanto los intervalos de confianza para los “comerciables” como para los “comerciables ideales” son prácticamente los mismos, lo que indica que casi la totalidad de comerciables encontrados en las bolsas de “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” se encontraban en condiciones ideales.

En la Etapa III también se recogió una bolsa con residuos clasificados como “otros”, los cuales contenían aquellos residuos que no pertenecieran a las clasificaciones de “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón”, sin incluir dentro de las mismas los residuos de comida y jardín; esto con el propósito de analizar qué proporción de residuos pertenecientes a “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” depositaban en estas bolsas.

En la Tabla 4.16 se presentan los porcentajes de los residuos pertenecientes a las clasificaciones “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón” que se encontraron dentro de la bolsa de la clasificación “otros”.

Tabla 4.16 Resumen de resultados de las bolsas de "otros" de la EtapaIII

Bolsa	Depto.	% real de "otros"
1	e	88.36
2	g	100.00
3	j	97.97
4	k	100.00
5	l	68.09
6	m	100.00
7	p	100.00
Promedio		93.49

En la Figura 4.14 puede verse que sólo un 7% de los residuos encontrados dentro de la bolsa de "otros", no pertenecían a dicha clasificación, sino que pertenecían a las clasificaciones "vidrio", "metal", "plástico" y "papel-cartón", lo que muestra que una muy baja proporción de residuos pertenecientes a dichas clasificaciones fueron colocados en la bolsa incorrecta.

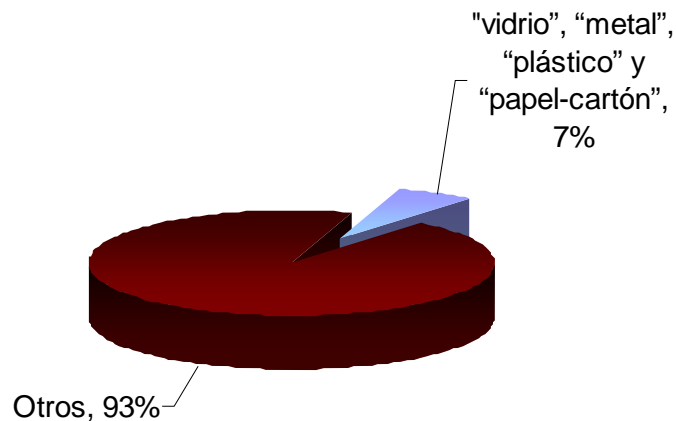


Fig. 4.14 Proporción de "vidrio", "metal", "plástico" y "papel-cartón" en la bolsa de "otros"

Se hallaron los intervalos de confianza para estos datos, los cuales se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Intervalos de confianza para el porcentaje real de “otros” en la bolsa de los “otros” para la Etapa III

Intervalos de confianza para $\alpha = 95\%$	
Paramétrico (%)	Percentiles 2.5 y 97.5 (%)
$85 < x < 100$	$71 < x < 100$

Esto significa que se podría esperar que en la bolsa de los “otros” se encontrara mínimo un 71% de residuos realmente pertenecientes a esta clasificación.

4.3 Resultados de las encuestas

Al término de cada etapa del estudio de campo se aplicó a los participantes una encuesta (Anexo C), con el fin básico de recoger sus impresiones sobre el grado de dificultad de cada tipo de separación que llevaron a cabo.

En la Tabla 4.18 se muestra el grado de dificultad que percibió la población participante en las Etapas I y II de cada tipo de separación que practicó. En la Etapa I se encuestaron los 8 departamentos participantes, mientras que en la Etapa II se encuestaron 10 departamentos, pues a uno de ellos no se le encuestó debido a que no entregó sus residuos separados de la manera propuesta (Anexo D).

Se puede observar que los participantes de la Etapa I consideraron los tipos de separación practicados de mayor dificultad que como lo consideraron los participantes de la Etapa II, lo que puede deberse a que los participantes de la Etapa I tenían en promedio una edad mucho mayor (52 años) que los participantes de la Etapa II (38 años), lo que los hace posiblemente más resistentes a los cambios.

Tabla 4.18 Grado de dificultad que percibió la población muestreada en las Etapas I y II acerca de la separación según la ley y la separación propuesta

	Grado de dificultad	Etapas I	Etapas II
Separación según la ley	Fácil (%)	50	100
	Moderado (%)	12.5	0
	Difícil (%)	25	0
	Muy difícil (%)	12.5	0
Separación propuesta	Fácil (%)	0	60
	Moderado (%)	50	20
	Difícil (%)	37.5	20
	Muy difícil (%)	12.5	0

Aunque en ambas etapas los participantes consideraron la separación que indica la ley más fácil que la separación propuesta, el 100% de los entrevistados opinó que estarían dispuestos a separar de la manera propuesta si esto conllevara mayores beneficios ambientales.

En la Tabla 4.19 se muestra el grado de dificultad que percibió la población participante en la Etapa III con respecto a la separación en 5 clasificaciones. En esta etapa se encuestaron los 10 departamentos participantes (Anexo D) y se observó que el 90% de los participantes opinó que el grado de dificultad de este tipo de separación está entre fácil y moderado.

Tabla 4.19 Grado de dificultad que percibió la población muestreada en la Etapa III acerca de la separación en 5 clasificaciones

	Grado de dificultad	Etapas III
Separación en 5 clasificaciones	Fácil (%)	50
	Moderado (%)	40
	Difícil (%)	10
	Muy difícil (%)	0

El 100% de los participantes de la Etapa III opinaron que estarían dispuestos a separar sus residuos en 5 clasificaciones si esto conllevara mayores beneficios ambientales.

En general, para los entrevistados fue más fácil separar sus residuos de la manera que indica la ley, lo que era de esperarse pues ya se encuentran familiarizados con este tipo de separación, y esto se vio reflejado en el estudio de campo. Esto indica que los entrevistados estuvieron dispuestos a adoptar la separación de sus residuos de ese modo y que la educación recibida para efectuar la separación en “orgánicos” e “inorgánicos” fue efectiva. En cuanto a las demás separaciones practicadas (separación propuesta y separación en 5 clasificaciones), aunque el grado de dificultad percibido fue mayor, debido posiblemente a que no se encontraban tan familiarizados con ellas ni habían recibido una educación permanente para realizarla, su disposición para efectuarlas fue total.

4.4 Estimación del incremento en la eficiencia de separación en las plantas de selección

Con el fin de ponderar, de manera general, la puesta en marcha del programa de separación propuesto en este trabajo, enseguida se expone la manera en que se incrementaría la eficiencia en la separación de materiales comerciables en las plantas de selección del D.F.

La eficiencia de separación de una planta de selección se puede determinar de la siguiente manera:

$$E = (Tr/Ti) 100 \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

donde:

E= Eficiencia de separación, %

Tr= Toneladas de residuos comerciables que se separan

Ti= Toneladas de residuos que ingresan a la planta

La eficiencia de separación depende de varios factores, entre los que se encuentra la condición de arribo de los residuos a la planta (si cuentan con una separación previa)

(Platzeck y Campaña, 2002; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 1999). Este factor se vería afectado si en el D.F. se adoptara alguno de los tipos de separación practicados durante el estudio de campo, ya que mientras más separados de los residuos de rechazo (los que no pueden ser seleccionados debido a que no son “comerciables” o su condición es inapropiada) se encuentren los residuos que ingresarán a la banda de selección, más aumentará la eficiencia de separación, es decir, más residuos se recuperarán.

4.4.1 Eficiencia de separación actual

En la actualidad los residuos que ingresan a las plantas de selección que operan en el D.F. llegan muy mezclados, ya que a pesar de que está vigente el programa de separación en residuos “orgánicos” e “inorgánicos”, el mismo se lleva a cabo de manera muy limitada debido a que, por un lado, parte de la población aún no lo lleva a cabo y por otro lado, la infraestructura para mantener separados los residuos durante la recolección es escasa. Lo anterior contribuye a que la eficiencia de separación obtenida en las plantas sea muy baja, como se muestra en la Fig. 4.15.

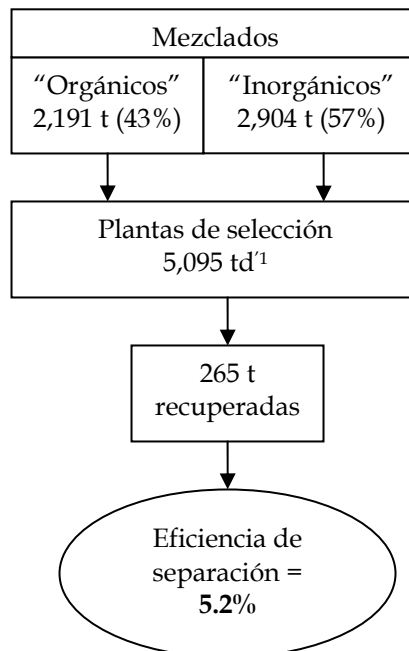


Fig. 4.15 Condición de arribo de los residuos a las plantas de selección del Distrito Federal, México, y su eficiencia de separación actual (Adaptado de PGGIRS, 2004)

Asumiendo que los “inorgánicos” que entran mezclados a las plantas de selección tienen las mismas características que los analizados en el estudio de campo, se tiene que del 57% de “inorgánicos” que ingresan en las plantas de selección, sólo el 13% de ellos son comerciables en condiciones ideales, o sea, que del 100% de residuos que ingresa a la planta, solamente el 7.4% son comerciables en condiciones ideales.

4.4.2 Eficiencia de separación con los residuos separados en “orgánicos” e “inorgánicos”

En el caso de que los residuos que arribaran a la planta de selección fueran en su totalidad pertenecientes a la clasificación de “inorgánicos” y los mismos tuvieran, hipotéticamente, las mismas características que los residuos entregados en el estudio de campo bajo esta clasificación, se tendría, asumiendo que la eficiencia de separación es directamente proporcional a la condición de arribo de los residuos a la planta, una eficiencia de separación estimada de (Fig. 4.16):

$$E_i = (13\% \times 5.2\%) / 7.4\% = 9.1\%$$

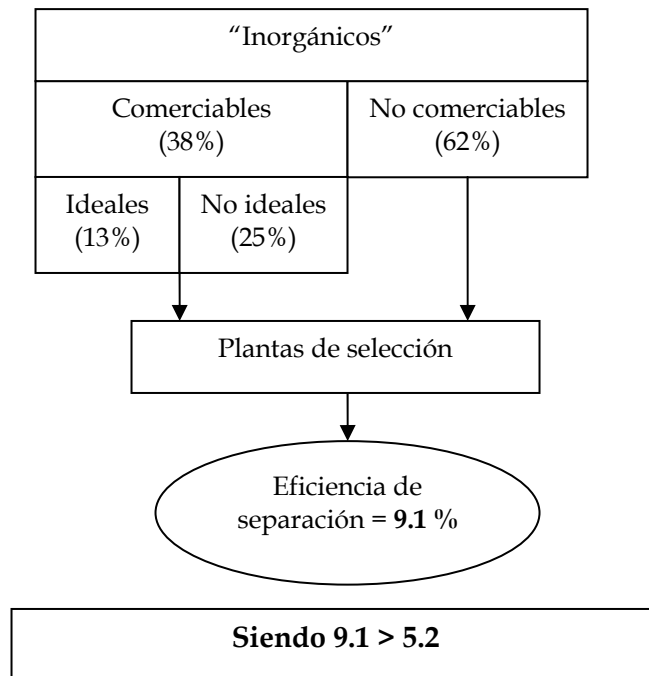


Fig. 4.16 Condición de arribo de los residuos a las plantas de selección del Distrito Federal, México, en caso de que fueran en su totalidad pertenecientes a la clasificación “inorgánicos” y que hipotéticamente tuvieran las mismas características que los residuos entregados en el estudio de campo bajo esa clasificación; y su eficiencia de separación

Esto sería así si las demás variables que afectan la eficiencia de separación de la planta de selección se mantuvieran estables.

4.4.3 Eficiencia de separación con el método propuesto (“reciclables” y “otros”)

En el caso de que los residuos que arribaran a la planta de selección fueran en su totalidad pertenecientes a la clasificación de “reciclables” y los mismos tuvieran, hipotéticamente, las mismas características que los residuos entregados en el estudio de campo bajo esta clasificación, se tendría, asumiendo que la eficiencia de separación es directamente proporcional a la condición de arribo de los residuos a la planta, una eficiencia de separación estimada de (Fig. 4.17):

$$E_r = (42\% \times 5.2\%) / 7.4\% = 29.5\%$$

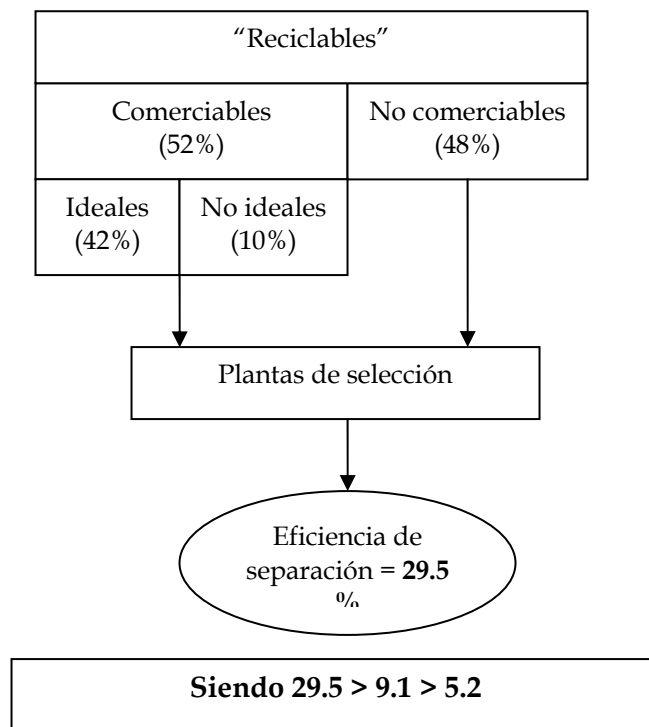


Fig. 4.17 Condición de arribo de los residuos a las plantas de selección del Distrito Federal, México, en caso de que fueran en su totalidad pertenecientes a la clasificación “reciclables” y que hipotéticamente tuvieran las mismas características que los residuos entregados en el estudio de campo bajo esa clasificación; y su eficiencia de separación

Esto sería así si las demás variables que afectan la eficiencia de separación de la planta de selección se mantuvieran estables.

4.4.4 Eficiencia de separación con el método propuesto de 5 clasificaciones

Para el caso de la separación en 5 clasificaciones sería necesario modificar la manera en la que la planta opera actualmente, pero en caso de que así sea se podría obtener una eficiencia de separación aún mayor que 9.1% y 29.5%.

4.4.5 Valores reales de la eficiencia de separación

Los valores calculados en los incisos anteriores para la eficiencia de separación en las plantas de selección del D.F. son estimaciones grosso modo, por lo que para conocer el valor real de la eficiencia de separación que se obtendría en las plantas de selección en caso de que los residuos que ingresaran a las bandas fueran residuos previamente separados y pertenecientes a la clasificación de “inorgánicos” o “reciclables” o “vidrio”, “metal”, “plástico” y “papel-cartón”, se precisaría de la realización de un estudio en el que, pasando determinada cantidad de residuos por una banda de selección, se mida la eficiencia de separación obtenida en un cierto tiempo para cada clasificación ingresada a la banda y de ahí se infiera cómo varían estas eficiencias de un tipo de separación a otro.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término de los trabajos realizados en este estudio, que aportó amplias experiencias y hallazgos, se presentan las conclusiones más relevantes, así como algunas recomendaciones donde se indican las actividades que se consideran de mayor importancia llevar a cabo para mejorar los procedimientos de separación de residuos y lograr mayores beneficios en la cantidad y calidad de los materiales separados.

5.1 Conclusiones

1. No hay infraestructura suficiente en la actualidad que apoye el reaprovechamiento de los residuos “orgánicos” generados en el D.F., ya que la capacidad instalada para la producción de composta en el D.F. es de 214 t d⁻¹, o sea, podría procesarse tan sólo un 4.1% de la generación diaria de residuos “orgánicos”. Además, no se cuenta por el momento ni se tiene programada la construcción de algún tipo de infraestructura para aprovechar tales residuos en la generación de energía eléctrica a partir del biogás rico en metano que se genera a partir de la descomposición anaerobia de los mismos.
2. Existe una infraestructura suficiente para la selección y el acopio de los residuos “inorgánicos” que se generan en el D.F., ya que actualmente se cuenta con tres plantas de selección con una capacidad instalada conjunta para manejar unas 6,500 t d⁻¹ de residuos, cantidad que prácticamente iguala la generación de residuos “inorgánicos”.
3. Usando la clasificación de “reciclables” (separación propuesta) en vez de la clasificación de los “inorgánicos” (establecida por la ley), se recuperó en promedio un 14% más de materiales “comerciables”, lo que aumentaría la eficiencia de separación de las plantas de selección. Este porcentaje podría incrementarse todavía más si la eficiencia de separación en la fuente de generación aumentara (principalmente por la educación de la población al respecto).

4. Se encontró en las bolsas de los “reciclables” (separación propuesta) en promedio un 29% más de residuos que eran “comerciables” en condiciones “ideales” que en las bolsas de los “inorgánicos” (separación como indica la LRSDF).
5. Al separar en cinco clasificaciones, la eficiencia de separación en promedio fue alta (69%) y casi la totalidad de los “comerciables” (97% en promedio) se encontraron en condiciones ideales.
6. La muestra poblacional participante en el estudio de campo separó mejor sus residuos en “orgánicos” e “inorgánicos” que para los demás tipos de separación. Este resultado era esperado, ya que en el momento en que se realizó el estudio los participantes ya tenían más de un año familiarizados con este tipo de separación.
7. Para la muestra poblacional fue más fácil separar sus residuos como lo indica la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (“orgánicos” e “inorgánicos”), aunque el 100% estaría dispuesto a separarlos tanto de la manera propuesta (“reciclables” y “otros”), como en las cinco clasificaciones (“vidrio”, “plástico”, “metal”, “papel-cartón” y “otros”) si esto conllevara mayores beneficios ambientales.

5.2 Recomendaciones

1. Dar continuidad a este estudio, tomando como modelo la metodología del mismo. Los estudios de campo deberán realizarse en todos los estratos socio-económicos.
2. Realizar un estudio que permita conocer el valor real de la eficiencia de separación que se obtendría en las plantas de selección en caso de que los residuos que ingresaran a las bandas fueran residuos previamente separados de las maneras practicadas en el estudio de campo realizado en esta investigación.

3. Realizar un estudio para determinar los posibles consumidores de composta en el D.F. y sus alrededores y la cantidad potencial de dicho material que cada uno pudiera requerir. Con base en la cantidad a la que se le podría dar uso, planificar la producción de la misma.

4. Estudiar la factibilidad de aprovechar el potencial de los residuos “orgánicos” generados en el D.F., que al descomponerse por métodos anaerobios producen biogás con una alta proporción de metano, que podría usarse para la generación de energía eléctrica.

5. Tomar fuentes puntuales que generen cantidades significativas de residuos “orgánicos” (Ej.: Central de Abastos, mercados, poda de árboles de la Comisión Federal de Electricidad) para la producción de composta y/o de biogás.

ANEXOS

ANEXO A

Resultados obtenidos en el laboratorio

A.1 Resultados de las Etapas I y II

- “ORGÁNICOS”

En las Tablas A.1 y A.2 se presentan los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio de las bolsas verdes entregadas, es decir, aquellas que debían contener los residuos “orgánicos”. Estos resultados se presentan para cada departamento participante. La 3ª columna contiene el peso total de residuos contenidos en la o las bolsas verdes que entregó cada departamento, la 4ª columna contiene el peso de los residuos que realmente eran “orgánicos” y la 5ª columna el peso de aquellos residuos “inorgánicos” encontrados tras revisar minuciosamente el contenido de cada bolsa.

En la Tabla A.2 se presentan los datos sólo para 10 departamentos, ya que el departamento “s” no entregó sus residuos.

Tabla A.1 Resultados del análisis de las bolsas de “orgánicos” de la Etapa I

No.	Depto.	Peso total g	Peso residuos orgánicos g	Peso residuos inorgánicos g
1	a	589	576	13
2	b	761	760	1
3	c	3,297	3,289	8
4	d	533	524	9
5	e	43	43	0
6	f	508	462	46
7	g	620	620	0
8	h	1,198	1176	22
TOTAL		7,549	7,450	99

Tabla A.2 Resultados del análisis de las bolsas de “orgánicos” de la Etapa II

No.	Depto.	Peso total g	Peso residuos orgánicos g	Peso residuos inorgánicos g
1	i	5,598	5,598	0
2	j	944	944	0
3	k	2,756	2,725	31
4	l	3,739	3,711	28
5	m	892	887	5
6	n	2,276	2,275	1
7	o	1,032	1,032	0
8	p	647	640	7
9	q	3,255	3,236	19
10	r	1,593	1,593	0
TOTAL		22,732	22,641	91

- “INORGÁNICOS”

En las Tablas A.3 y A.4 se presentan los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio de las bolsas grises entregadas, es decir, aquellas que debían contener los residuos “inorgánicos”. Estos resultados se presentan para cada departamento participante. En la 3ª columna se presentan los valores del peso total de residuos contenidos en la o las bolsas grises de “inorgánicos” entregadas por cada departamento. De la 4ª a la 12ª columna se presentan los pesos del plástico, aluminio, cobre, hierro, hojalata, trapo, papel y cartón “comerciables” encontrados tras analizar cada bolsa, y de la 13ª a la 21ª columna se presentan los pesos del plástico, aluminio, cobre, hierro, hojalata, trapo, papel y cartón “comerciables” que se encontraban en condiciones “ideales”.

En la Tabla A.4 se presentan los datos sólo para 9 departamentos, ya que los departamentos “m” y “s” no entregaron sus residuos.

Tabla A.3 Resultados del análisis de las bolsas de “inorgánicos” de la Etapa I

No.	Depto.	Peso total g	Comerciables									Comerciables en condiciones ideales								
			Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g	Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g
1	a	335	38	14	0	6	0	58	0	16	0	2	0	0	6	0	0	0	11	0
2	b	726	76	0	0	0	0	0	0	28	369	50	0	0	0	0	0	0	28	55
3	c	1329	231	0	273	0	0	40	0	71	111	98	0	0	0	0	0	0	39	27
4	d	273	48	0	0	0	0	0	18	27	68	1	0	0	0	0	0	18	27	68
5	e	332	11	0	0	0	0	0	0	39	6	1	0	0	0	0	0	0	5	6
6	f	5,795	628	67	2,379	0	6	60	0	13	454	548	67	1,808	0	6	60	0	13	380
7	g	1,337	230	0	0	0	0	28	0	5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	h	1,247	446	0	0	0	0	0	0	20	75	58	0	0	0	0	0	0	0	70
TOTAL		11,374	1,708	81	2,652	6	6	186	18	219	1,103	758	67	1,808	6	6	60	18	123	606

Tabla A.4 Resultados del análisis de las bolsas de “inorgánicos” de la Etapa II

No.	Depto.	Peso total g	Comerciables									Comerciables en condiciones ideales								
			Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g	Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g
1	i	623	31	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	j	1,091	188	33	0	0	0	0	0	0	10	188	0	0	0	0	0	0	0	10
3	k	2,357	388	0	201	0	0	39	0	159	163	97	0	0	0	0	0	0	0	163
4	l	2,120	145	0	0	0	0	0	0	22	42	68	0	0	0	0	0	0	0	7
5	n	272	14	0	0	0	0	0	0	21	41	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	o	561	107	0	0	0	0	166	0	0	34	60	0	0	0	0	101	0	0	34
7	p	468	46	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	q	1,968	303	0	163	0	0	0	23	797	34	172	0	0	0	0	0	0	0	15
9	r	958	126	0	167	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		10,418	1,348	33	531	0	0	320	23	1,006	324	586	0	0	0	0	101	0	0	229

- “OTROS”

En las Tablas A.5 y A.6 se presentan los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio de las bolsas negras entregadas, es decir, aquellas que debían contener los residuos “otros”. Estos resultados se presentan para cada departamento participante. La 3ª columna contiene el peso total de residuos contenidos en la o las bolsas negras que entregó cada departamento, la 4ª columna contiene el peso de los residuos que realmente pertenecían a la clasificación “otros” y la 5ª columna el peso de aquellos residuos pertenecientes a la clasificación “reciclables” encontrados tras revisar minuciosamente el contenido de cada bolsa.

En la Tabla A.6 se presentan los datos sólo para 10 departamentos, ya que el departamento “i” no entregó sus residuos.

Tabla A.5 Resultados del análisis de las bolsas de “otros” de la Etapa I

No.	Depto.	Peso total g	Peso otros g	Peso reciclables g
1	a	911	630	281
2	b	876	857	19
3	c	2052	1975	77
4	d	1,532	1,532	0
5	e	373	373	0
6	f	477	477	0
7	g	2,405	2,405	0
8	h	1,701	1,138	563
TOTAL		10,327	9,387	940

Tabla A.6 Resultados del análisis de las bolsas de “otros” de la Etapa II

No.	Depto.	Peso total g	Peso otros g	Peso reciclables g
1	j	2,551	2,551	0
2	k	1,529	1,060	469
3	l	5,295	4,638	657
4	m	2,455	1,728	727
5	n	2,205	2,205	0
6	o	902	902	0
7	p	2,370	1,897	473
8	q	6,319	5,867	452
9	r	936	936	0
10	s	890	890	0
TOTAL		25,452	22,674	2,778

- “RECICLABLES”

En las Tablas A.7 y A.8 se presentan los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio de las bolsas grises entregadas que debían contener los residuos de la clasificación “reciclables”. Estos resultados se presentan para cada departamento participante. En la 3ª columna se presentan los valores del peso total de residuos contenidos en la o las bolsas grises de “reciclables” entregadas por cada departamento. De la 4ª a la 12ª columna se presentan los pesos del plástico, aluminio, cobre, hierro, hojalata, trapo, papel y cartón “comerciables” encontrados tras analizar cada bolsa, y de la 13ª a la 21ª columna se presentan los pesos del plástico, aluminio, cobre, hierro, hojalata, trapo, papel y cartón “comerciables” que se encontraban en condiciones “ideales”.

En la Tabla A.8 se presentan los datos sólo para 10 departamentos, ya que el departamento “i” no entregó sus residuos.

Tabla A.7 Resultados del análisis de las bolsas de “reciclables” de la Etapa I

No.	Depto.	Peso total g	Comerciables									Comerciables en condiciones ideales								
			Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro G	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g	Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g
1	a	736	30	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	b	268	71	0	0	0	0	0	0	0	78	71	0	0	0	0	0	0	0	78
3	c	2,482	155	0	0	0	0	35	61	1,055	327	0	0	0	0	0	0	61	1,051	327
4	d	3,096	195	0	0	0	0	0	0	0	145	190	0	0	0	0	0	0	0	145
5	e	269	57	0	81	0	0	0	0	18	75	52	0	81	0	0	0	0	18	75
6	f	1,800	308	0	955	0	0	72	0	0	327	223	0	955	0	0	72	0	0	327
7	g	571	153	0	0	2	0	51	56	66	90	120	0	0	2	0	51	56	63	90
8	h	1,090	0	0	0	0	0	0	0	18	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		10,312	969	0	1,036	2	0	222	117	1,157	1,073	656	0	1,036	2	0	123	117	1,132	1,042

Tabla A.8 Resultados del análisis de las bolsas de “reciclables” de la Etapa II

Bolsa	Depto.	Peso total g	Comerciables									Comerciables en condiciones ideales								
			Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g	Plást g	Alum g	Vidrio g	Cobre g	Hierro g	Hojal g	Trapo g	Papel g	Cartón g
1	j	390	96	0	86	0	0	39	67	4	0	96	0	86	0	0	39	67	4	0
2	k	2,001	152	0	365	0	0	181	0	182	71	135	0	0	0	0	181	0	182	71
3	l	808	177	0	0	0	0	0	0	3	26	141	0	0	0	0	0	0	0	8
4	m	2,096	39	0	239	0	0	0	0	505	0	0	0	239	0	0	0	0	234	0
5	n	296	34	0	0	0	0	0	0	13	0	27	0	0	0	0	0	0	7	0
6	o	296	9	0	171	0	0	0	0	35	0	9	0	171	0	0	0	0	0	0
7	p	1,538	57	0	1,139	0	0	0	0	0	0	57	0	158	0	0	0	0	0	0
8	q	1,116	397	0	210	0	0	0	0	0	294	397	0	210	0	0	0	0	0	294
9	r	1,473	356	0	171	0	0	0	0	152	96	124	0	0	0	0	0	0	152	73
10	s	23	13	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		10,037	1,330	0	2,381	0	0	220	67	894	487	999	0	864	0	0	220	67	579	446

A.2 Resultados de la Etapa III

En las Tablas A.9 a la A.12 se presentan los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio de las bolsas entregadas para cada una de las clasificaciones “vidrio”, “plástico”, “metal”, y “papel-cartón”. Estos resultados se presentan para cada departamento participante. La 3ª columna contiene el peso total de residuos contenidos en la bolsa que entregó cada departamento para cada clasificación, la 4ª columna contiene el peso de los residuos que, tras revisar minuciosamente el contenido de cada bolsa, realmente pertenecían a dicha clasificación y eran “comerciables” y la 5ª columna el peso de aquellos residuos que realmente pertenecían a dicha clasificación, eran “comerciables” y se encontraban en condiciones “ideales”.

Aunque participaron 10 departamentos, no todos entregaron bolsas para todas las clasificaciones, debido a que no produjeron ese tipo de residuo en los días en que se tomaron las muestras, o los colocaron erróneamente en alguna otra clasificación.

- “VIDRIO”

Tabla A.9 Resultados del análisis de las bolsas de “vidrio” de la Etapa III

No.	Depto.	Peso total g	Peso vidrio comerciable g	Peso vidrio comerciable ideal g
1	c	26	0	0
2	e	162	119	119
3	g	332	332	332
4	j	400	400	400
5	k	481	481	481
6	l	483	379	379
7	p	1956	1876	1669
8	q	1997	1997	1997
TOTAL		5837	5584	5377

- “PLÁSTICO”

Tabla A.10 Resultados del análisis de las bolsas de “plástico” de la Etapa III

No.	Depto.	Peso Total g	Peso plástico comerciable g	Peso plástico comerciable ideal g
1	c	419	336	306
2	e	97	97	97
3	g	240	208	205
4	j	342	321	319
5	k	1272	333	328
6	l	558	358	312
7	m	1618	351	317
8	p	332	280	277
9	q	668	522	522
10	s	75	69	69
TOTAL		5621	2875	2752

- “METAL”

Tabla A.11 Resultados del análisis de las bolsas de “metal” de la Etapa III

No.	Depto.	Peso total g	Peso metal comerciable g	Peso metal comerciable ideal g
1	c	143	143	32
2	e	14	0	0
3	g	123	123	123
4	j	165	158	158
5	k	370	276	276
6	m	84	0	0
7	p	149	149	149
8	q	194	136	136
TOTAL		1242	985	874

- “PAPEL-CARTÓN”

Tabla A.12 Resultados del análisis de las bolsas de “papel-cartón” de la Etapa III

No.	Depto.	Peso total g	Peso papel-cartón comerciable g	Peso papel-cartón comerciable ideal g
1	c	564	264	264
2	e	82	82	82
3	g	420	182	182
4	j	1658	1642	1642
5	k	276	0	0
6	l	667	123	123
7	m	11300	9187	9187
8	p	442	7	7
9	q	268	184	184
10	s	187	0	0
TOTAL		15864	11671	11671

- “OTROS”

En la Tabla A.13 se presentan los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio de las bolsas de residuos pertenecientes a la clasificación “otros”. Estos resultados se presentan para cada departamento participante. La 3ª columna contiene el peso total de los residuos contenidos en la bolsa de “otros” que entregó cada departamento, la 4ª columna contiene el peso de los residuos que realmente pertenecían a la clasificación “otros” y la 5ª columna el peso de aquellos residuos pertenecientes a alguna de las clasificaciones “vidrio”, “plástico”, “metal”, o “papel-cartón” encontrados tras revisar minuciosamente el contenido de cada bolsa. Aunque participaron 10 departamentos, no todos entregaron bolsas para esta clasificación, debido a que no produjeron ese tipo de residuo en los días en que se tomaron las muestras, o los colocaron erróneamente en alguna otra clasificación.

Tabla A.13 Resultados del análisis de las bolsas de “otros” de la Etapa III

No.	Depto.	Peso total g	Peso otros g	Peso comerciables g
1	e	292	258	34
2	g	478	478	0
3	j	838	821	17
4	k	48	48	0
5	l	141	96	45
6	m	401	401	0
7	p	157	157	0
TOTAL		2355	2259	96

ANEXOS B

Pruebas estadísticas

Anexo B.1 Prueba de independencia

➤ ETAPAS I Y II

- "INORGÁNICOS"

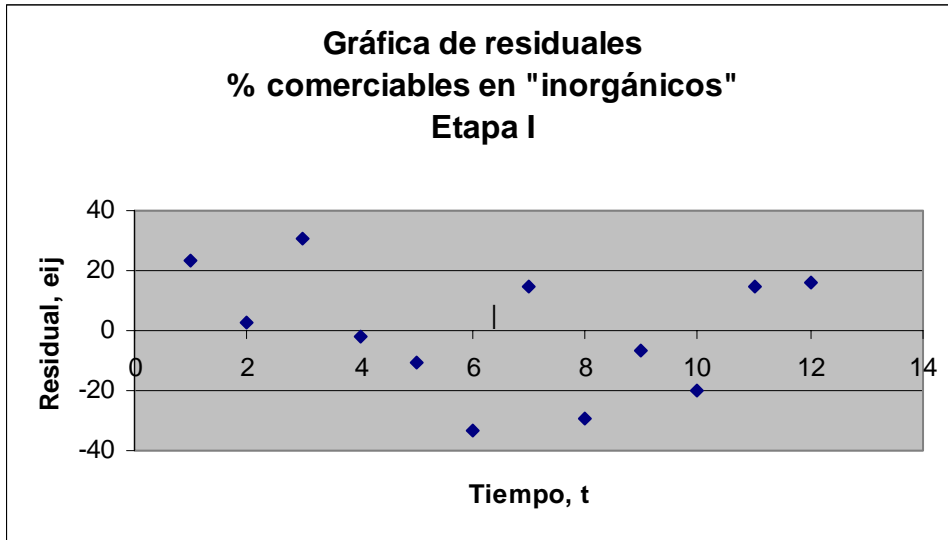


Fig. B.1 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables en la bolsa de los "inorgánicos", Etapa I

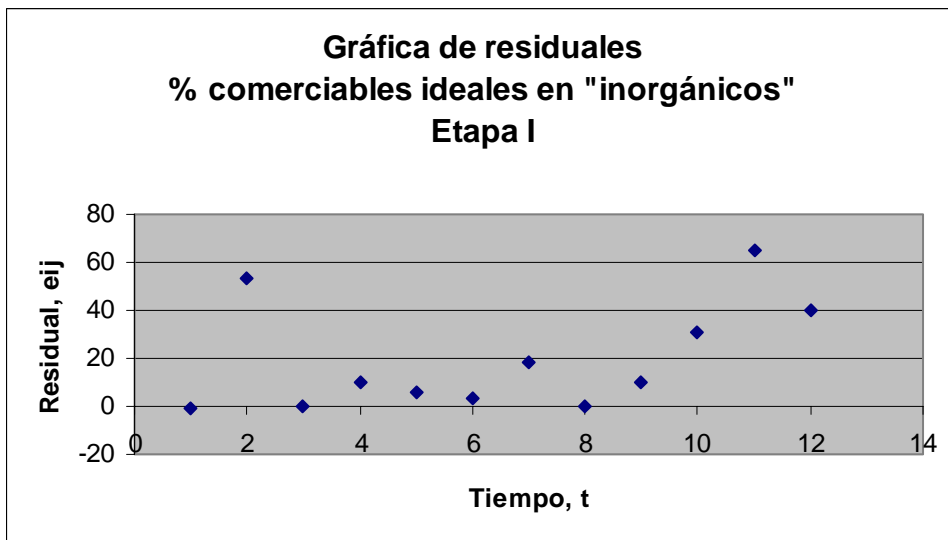


Fig. B.2 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables ideales en la bolsa de los "inorgánicos", Etapa I

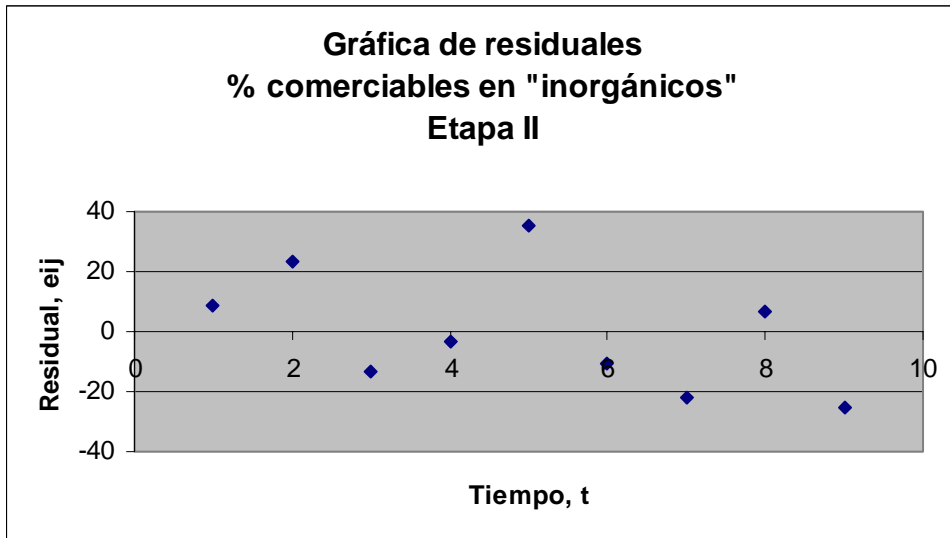


Fig. B.3 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables en la bolsa de los "inorgánicos", Etapa II

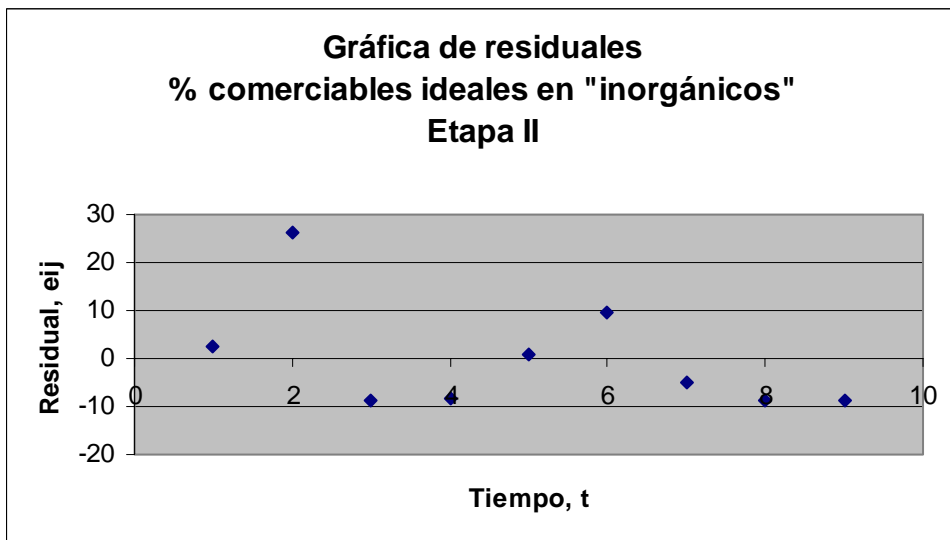


Fig. B.4 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables ideales en la bolsa de los "inorgánicos", Etapa II

- "OTROS"



Fig. B.5 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje real de "otros" en la bolsa de los "otros", Etapa I

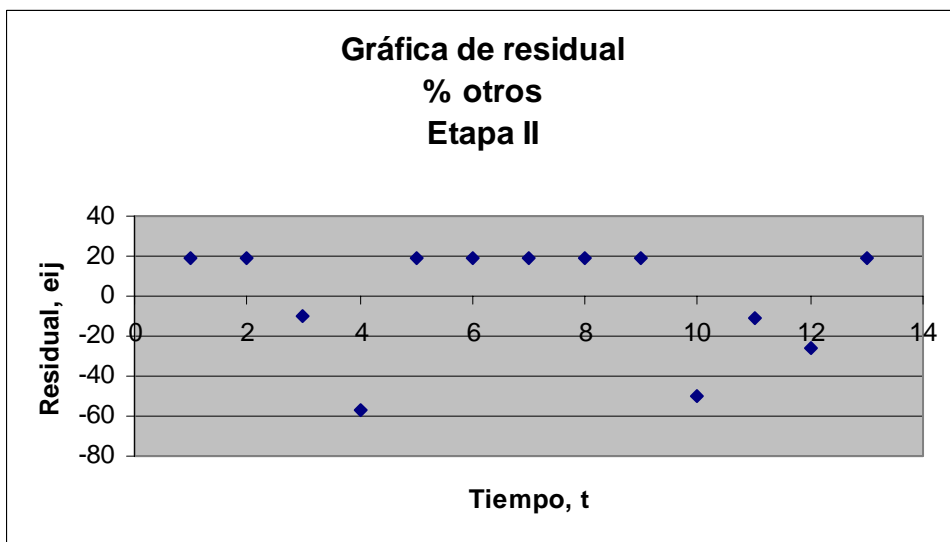


Fig. B.6 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje real de "otros" en la bolsa de los "otros", Etapa II

- "RECICLABLES"

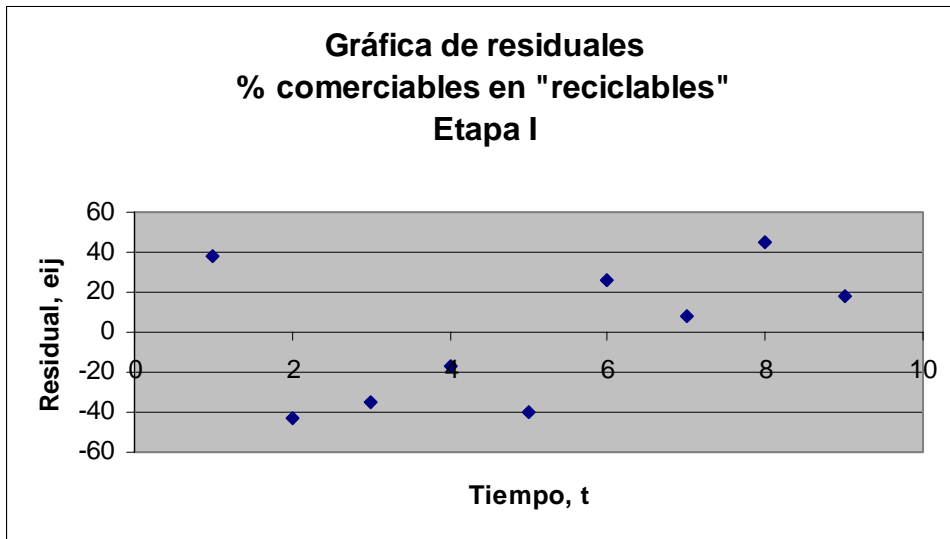


Fig. B.7 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables en la bolsa de los "reciclables", Etapa I

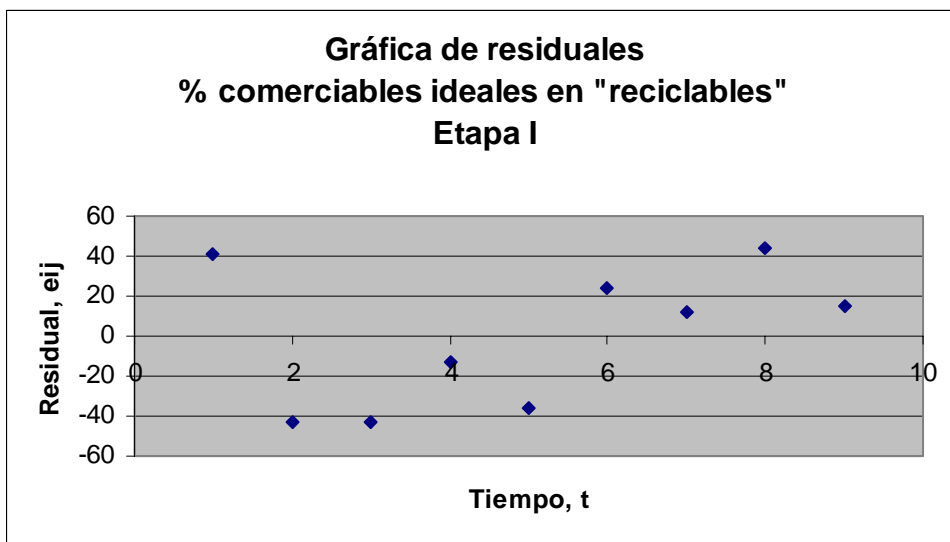


Fig. B.8 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables ideales en la bolsa de los "reciclables", Etapa II

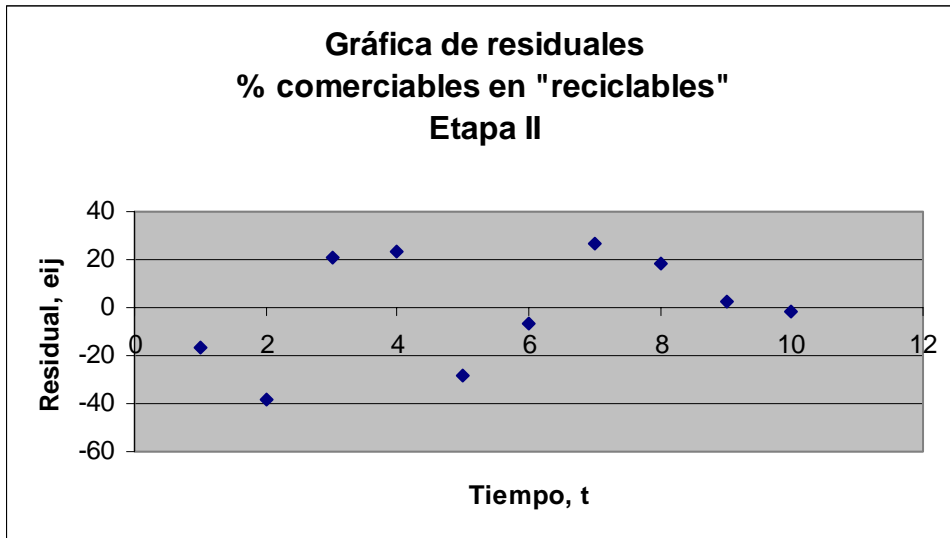


Fig. B.9 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables en la bolsa de los "reciclables", Etapa I

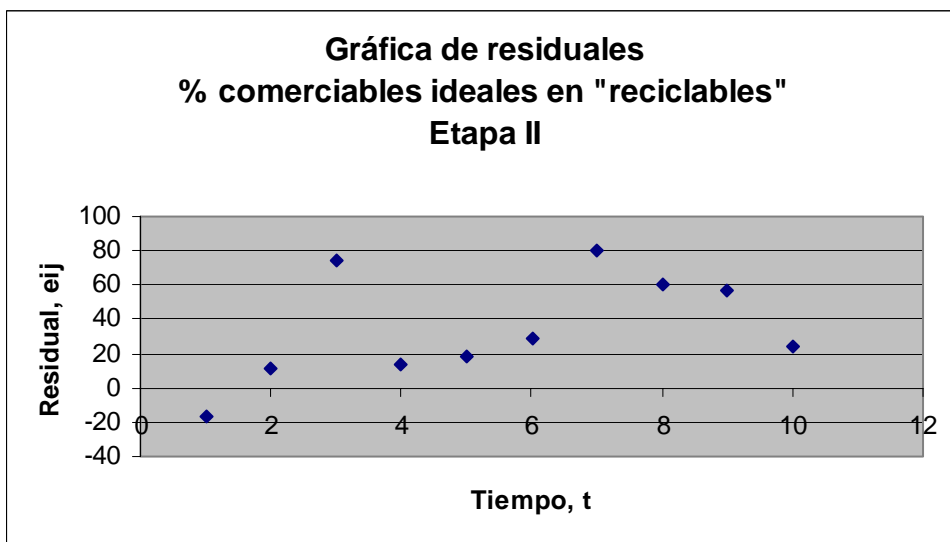


Fig. B.10 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de comerciables ideales en la bolsa de los "reciclables", Etapa II

➤ **ETAPA III**

• **"VIDRIO"**

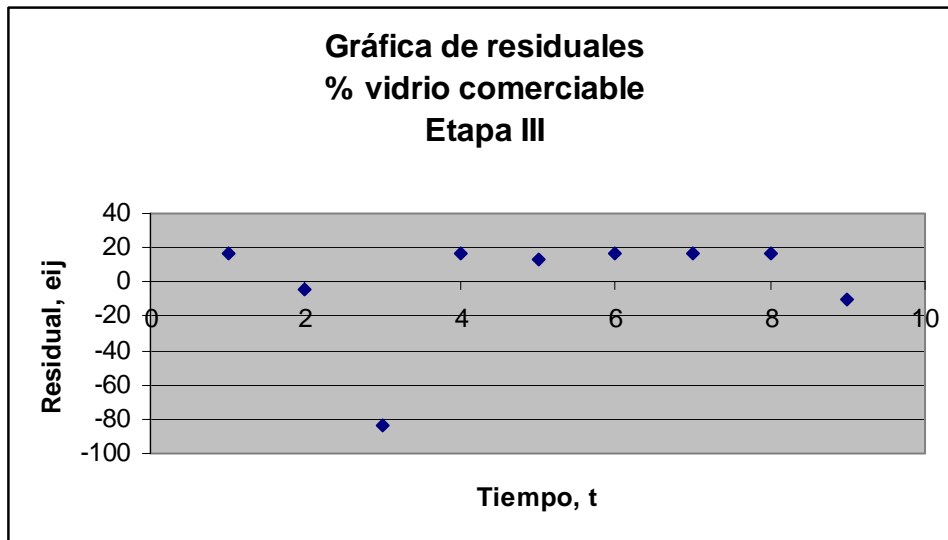


Fig. B.11 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de vidrio comerciable en la bolsa de "vidrio", Etapa III

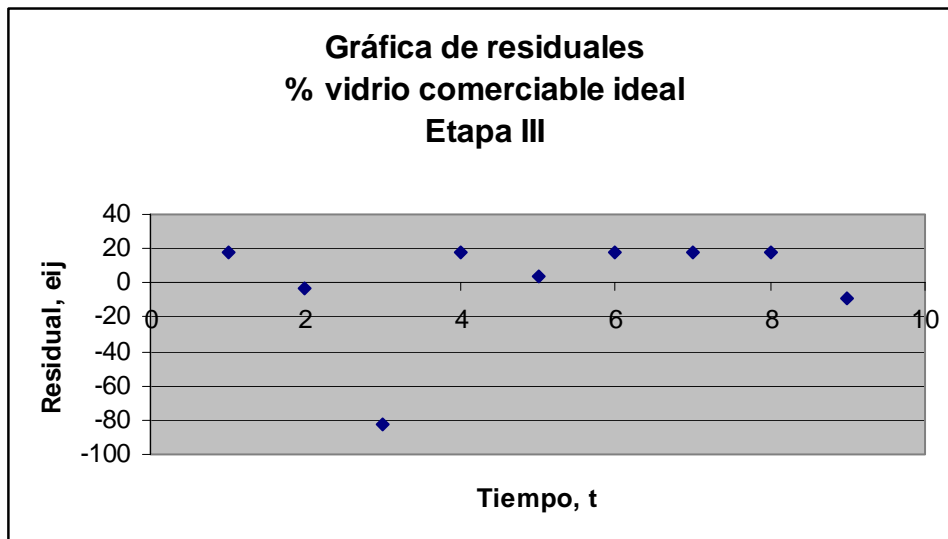


Fig. B.12 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de vidrio comerciable ideal en la bolsa de "vidrio", Etapa III

- “PLÁSTICO”

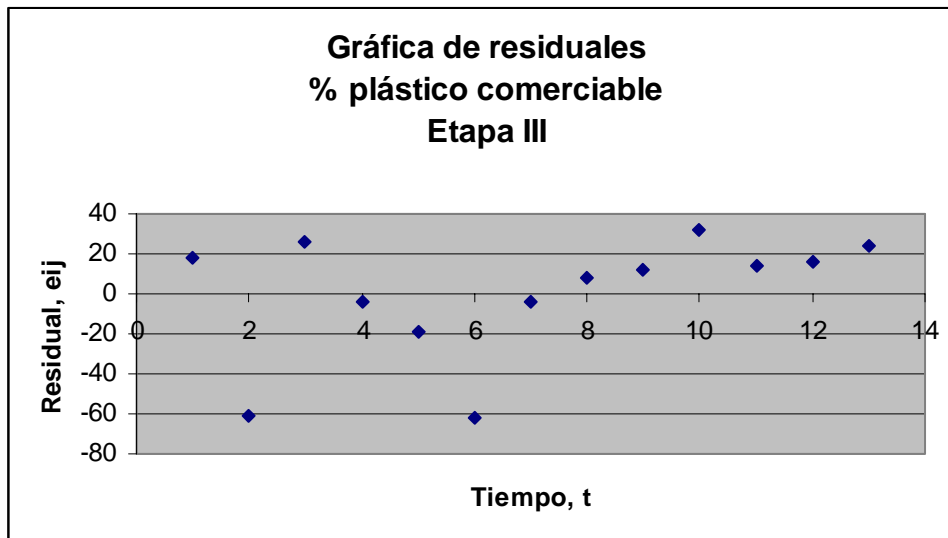


Fig. B.13 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de plástico comerciable en la bolsa de “plástico”, Etapa III

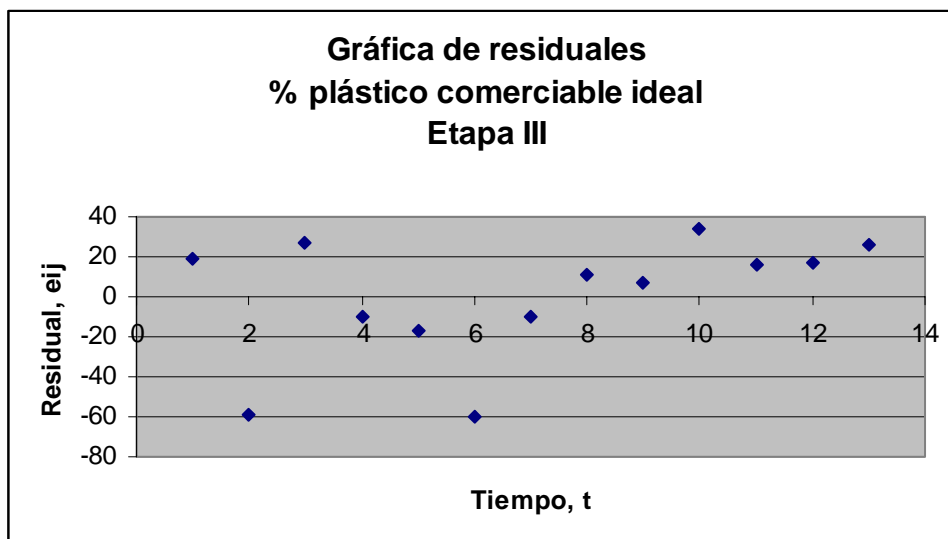


Fig. B.14 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de plástico comerciable ideal en la bolsa de “plástico”, Etapa III

- "METAL"

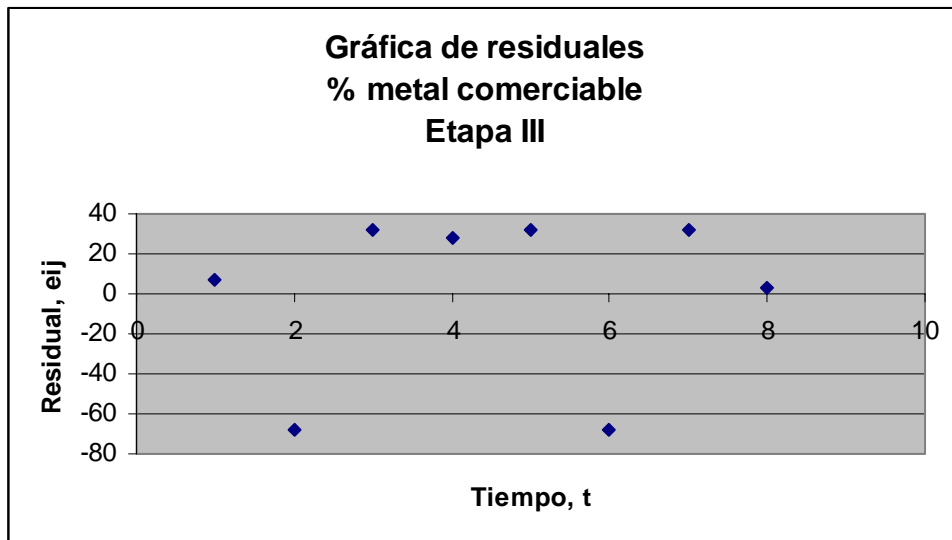


Fig. B.15 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de metal comerciable en la bolsa de "metal", Etapa III

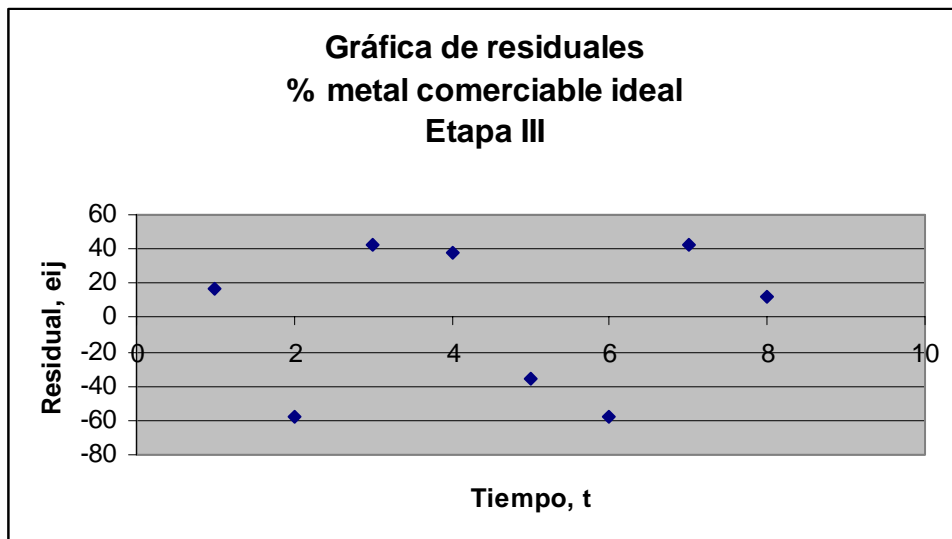


Fig. B.16 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de metal comerciable ideal en la bolsa de "metal", Etapa III

- "PAPEL-CARTÓN"

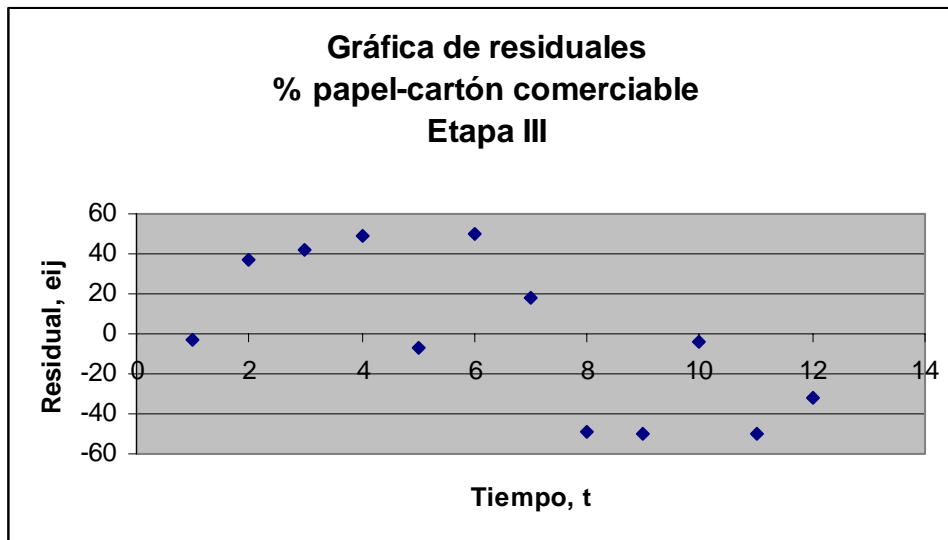


Fig. B.17 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de papel-cartón comerciable en la bolsa de "papel-cartón", Etapa III

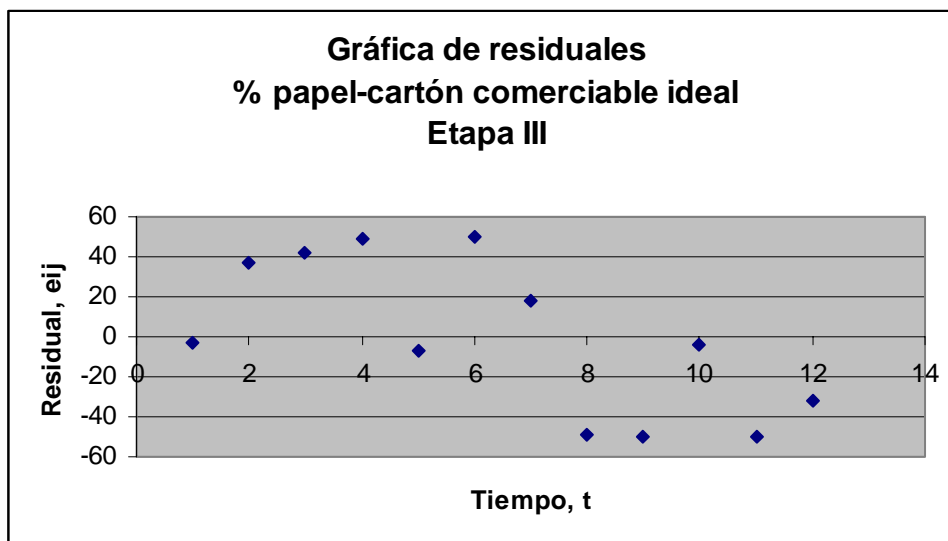


Fig. B.18 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje de papel-cartón comerciable ideal en la bolsa de "papel-cartón", Etapa III

- “OTROS”

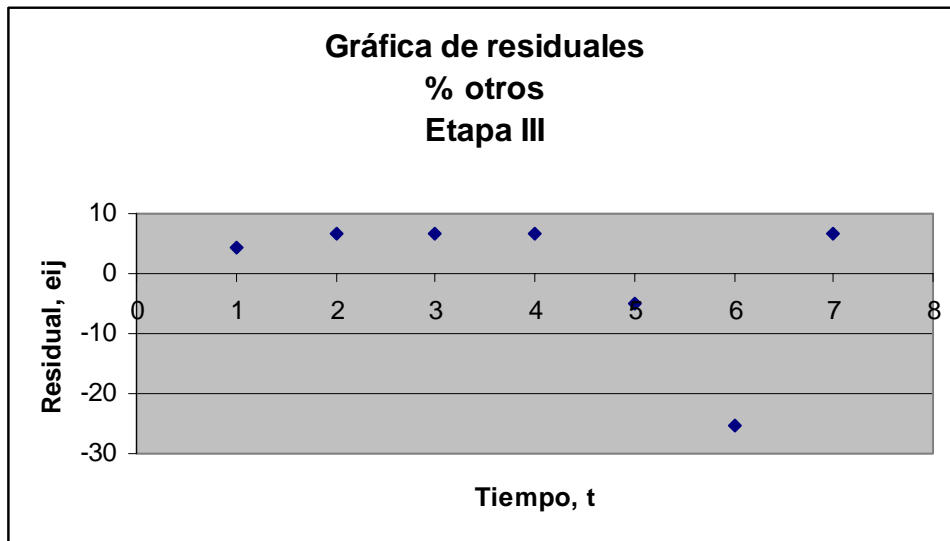


Fig. B.19 Gráfica de residuales con respecto al tiempo del porcentaje real de “otros” en la bolsa de los “otros”, Etapa III

Anexo B.2 Prueba de igualdad de varianzas (Levene modificada) para las Etapas I y II

• **“ORGÁNICOS”**

% "org." en bolsa de "org."		
Etapa I	Etapa II	
97.79	100.00	
99.87	100.00	
100.00	98.88	
98.31	99.25	
100.00	99.44	
90.94	99.96	
100.00	100.00	
98.16	98.92	
	99.42	
	100.00	
Mediana=	99.09	99.70

dij	
Etapa I	Etapa II
1.297	0.302
0.779	0.302
0.910	0.823
0.779	0.447
0.910	0.258
8.145	0.258
0.910	0.302
0.926	0.780
	0.281
	0.302

N=	18
k=	2
N-k=	16
k-1=	1
(N-k)/(k-1)=	16

Ziz=	1.832	0.406
ZG=	1.040	
(Ziz-ZG) ^ 2=	0.627952611	0.401889671
Ni*(Ziz-ZG) ^ 2=	5.024	4.018896708
ΣNi*(Ziz-ZG) ^ 2=	9.043	

(Zij - Ziz) ^ 2	
0.286036692	0.011
1.109650223	0.011
0.850071683	0.174
1.109650223	0.002
0.850071683	0.022
39.85603209	0.022
0.850071683	0.011
0.820040222	0.140
	0.015
	0.011

ΣΣ(Zij-Ziz) ^ 2=	46.149
-------------------------	---------------

L=	3.135092
F_{0.05,1,16}=	4.49
L < F	3.14 < 4.49
Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales	

• "INORGÁNICOS"

% comerc. en bolsa de "inorg."	
Etapa I	Etapa II
54.63	40.31
58.97	54.72
39.40	18.38
16.87	27.94
65.15	67.07
21.17	21.17
43.38	9.86
62.24	38.41
	6.10
Mediana=	49.01 27.94

dij	
Etapa I	Etapa II
5.622	12.364
9.969	26.783
9.603	9.565
32.138	0.000
16.146	39.132
27.839	6.768
5.622	18.083
13.237	10.472
	21.842

N=	17
k=	2
N-k=	15
k-1=	1
(N-k)/(k-1)=	15

Ziz=	15.022	16.112
ZG=	15.599	
(Ziz-ZG) ^ 2=	0.333073005	0.263168794
Ni*(Ziz-ZG) ^ 2=	2.665	2.36851915
ΣNi*(Ziz-ZG) ^ 2=	5.033	

(Zij - Ziz) ^ 2	
88.36396735	14.046
25.53676622	113.859
29.36636528	42.862
292.972552	259.598
1.262846924	529.918
164.2785533	87.312
88.36396735	3.883
3.184216583	31.808
	32.828

ΣΣ(Zij-Ziz) ^ 2=	1809.445
-------------------------	-----------------

L=	0.041724
F_{0.05,1,15}=	4.54
L < F	0.0417 < 4.54
	Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales

% comerc. ideales en bolsa de "inorg."		
Etapa I	Etapa II	
12.34	11.03	
41.76	34.76	
5.67	0.00	
3.61	0.37	
18.32	9.50	
0.00	18.15	
10.26	3.54	
49.73	0.00	
	0.00	
Mediana=	11.30	3.54

dij	
Etapa I	Etapa II
1.038	7.493
30.456	31.222
5.631	3.538
7.688	3.170
7.017	5.964
11.302	14.611
1.038	0.000
38.430	3.538
	3.538

N=	17
k=	2
N-k=	15
k-1=	1
(N-k)/(k-1)=	15

Ziz=	12.825	8.119
ZG=	10.334	
(Ziz-ZG)^2=	6.2063879	4.90381263
Ni*(Ziz-ZG)^2=	49.651	44.1343136
ΣNi*(Ziz-ZG)^2=	93.785	

(Zij - Ziz)^2	
138.93873	0.392
310.84895	533.720
51.757003	20.990
26.389283	24.494
33.730233	4.644
2.3182871	42.140
138.93873	65.922
655.62603	20.990
	20.990

ΣΣ(Zij-Ziz)^2=	2092.829
-----------------------	-----------------

L= 0.672191
F_{0.05,1,15} = 4.54
L < F
0.672 < 4.54

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales

• "OTROS"

% "otros" en bolsa de "otros"		
Etapa I	Etapa II	
97.83	92.85	
69.15	87.59	
96.25	70.39	
100.00	100.00	
100.00	100.00	
100.00	100.00	
100.00	80.04	
66.90	100.00	
	69.33	
	100.00	
Mediana=	98.92	96.42

dij	
Etapa I	Etapa II
1.084	3.577
29.761	8.831
2.668	26.037
1.084	3.577
1.084	3.577
1.084	3.577
1.084	16.381
32.014	3.577
	27.097
	3.577

N=	18
k=	2
N-k=	16
k-1=	1
(N-k)/(k-1)=	16

Ziz=	8.733	9.981
ZG=	9.426	
(Ziz-ZG)^2=	0.480284402	0.307382017
Ni*(Ziz-ZG)^2=	3.842	3.07382017
ΣNi*(Ziz-ZG)^2=	6.916	

(Zij - Ziz)^2	
58.50144508	41.012
442.1621284	1.320
36.78588516	257.794
58.50144508	41.012
58.50144508	41.012
58.50144508	41.012
58.50144508	40.970
541.9865241	41.012
	292.977
	41.012

ΣΣ(Zij-Ziz)^2=	2152.573
-----------------------	-----------------

L=	0.051407
F_{0.05,1,16}=	4.54
L < F	0.0051 < 4.54
	Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales

• “RECICLABLES”

% comerc. en bolsa de "reciclables"		
Etapa I	Etapa II	
85.87	37.36	
4.50	15.88	
12.77	74.87	
10.98	77.76	
73.20	25.50	
55.60	47.53	
92.33	80.73	
65.79	72.64	
	56.52	
	52.61	
Mediana=	60.70	54.57

dij	
Etapa I	Etapa II
25.178	17.211
56.200	38.689
47.924	20.304
49.713	23.196
12.510	29.073
5.098	7.041
31.638	26.167
5.098	18.067
	1.954
	1.954

N=	18
k=	2
N-k=	16
k-1=	1
(N-k)/(k-1)=	16

Ziz=	29.170	18.366
ZG=	23.168	
(Ziz-ZG)^2=	36.02856011	23.05827847
Ni*(Ziz-ZG)^2=	288.228	230.5827847
ΣNi*(Ziz-ZG)^2=	518.811	

(Zij - Ziz)^2	
15.93361876	1.334
730.6218276	413.053
351.7009214	3.757
422.036126	23.328
277.5687946	114.640
579.4412007	128.237
6.091190171	60.862
579.4412007	0.089
	269.342
	269.342

ΣΣ(Zij-Ziz)^2=	4246.818
-----------------------	-----------------

L=	1.954635
F_{0.05,1,16}=	4.49
L < F	1.9546 < 4.49
	Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales

% comerc. ideales en bolsa de "reciclables"		
Etapa I	Etapa II	
84.01	22.57	
0.00	11.49	
0.00	74.87	
10.82	13.98	
66.90	18.44	
55.60	28.44	
87.61	80.73	
57.98	60.81	
	56.52	
	23.69	
Mediana=	56.79	26.06

dij	
Etapa I	Etapa II
27.228	3.498
56.787	14.578
56.787	48.807
45.967	12.085
10.113	7.624
1.190	2.371
30.824	54.670
1.190	34.746
	30.457
	2.371

N=	18
k=	2
N-k=	16
k-1=	1
(N-k)/(k-1)=	16

Ziz=	28.761	21.121
ZG=	24.516	
(Ziz-ZG)^2=	18.0148	11.529503
Ni*(Ziz-ZG)^2=	144.119	115.29503
ΣNi*(Ziz-ZG)^2=	259.414	

(Zij - Ziz)^2	
2.35048	310.577
785.482	42.809
785.482	766.540
296.048	81.642
347.741	182.169
760.136	351.546
4.25644	1125.565
760.136	185.654
	87.169
	351.546

ΣΣ(Zij-Ziz)^2=	7226.848
-----------------------	-----------------

L=	0.574334
F_{0.05,1,16}=	4.49
L < F	0.5743 < 4.49
Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales	

**Anexo B.3 Prueba de igualdad de medias (Prueba de la suma de rangos de Wilcoxon)
para las Etapas I y II**

• **“ORGÁNICOS”**

% org. n₁	Rango
90.94	1
97.79	2
98.16	3
98.31	4
99.87	10
100.00	15
100.00	15
100.00	15
w₁=	65
% org. n₂	Rango
98.88	5
98.92	6
99.25	7
99.42	8
99.44	9
99.96	11
100.00	15
100.00	15
100.00	15
100.00	15
w₂=	106

Para $n_1=8$ y $n_2=10$
 $w_{0.05} = 53$

w_1 y $w_2 > w_{0.05}$
65 y 106 > 53

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula
de que $media_1 = media_2$

- “INORGÁNICOS”

- Comerciables

Comerc. n_1 %	Rango
16.87	3
21.17	5.5
39.40	9
43.38	11
54.63	12
58.97	14
62.24	15
65.15	16
$w_1 =$	85.5
Comerc. n_2 %	Rango
6.10	1
9.86	2
18.38	4
21.17	5.5
27.94	7
38.41	8
40.31	10
54.72	13
67.07	17
$w_2 =$	67.5

Para $n_1 = 8$ y $n_2 = 9$
 $w_{0.05} = 51$

w_1 y $w_2 > w_{0.05}$
 85.5 y 67.5 > 51

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula
 de que $media_1 = media_2$

- Comerciables ideales

Comerc. ideales n_1 %	Rango
0.00	2.5
3.61	7
5.67	8
10.26	10
12.34	12
18.32	14
41.76	16
49.73	17
$w_1 =$	86.5
Comerc. ideales n_2 %	Rango
0.00	2.5
0.00	2.5
0.00	2.5
0.37	5
3.54	6
9.50	9
11.03	11
18.15	13
34.76	15
$w_2 =$	66.5

Para $n_1=8$ y $n_2=9$
 $w_{0.05} = 51$

w_1 y $w_2 > w_{0.05}$
 86.5 y $66.5 > 51$

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula
de que $media_1 = media_2$

- "OTROS"

% otros n_1	Rango
66.90	1
69.15	2
96.25	8
97.83	9
100.00	14
100.00	14
100.00	14
100.00	14
$w_1 =$	76
% otros n_2	Rango
69.33	3
70.39	4
80.04	5
87.59	6
92.85	7
100.00	14
100.00	14
100.00	14
100.00	14
100.00	14
$w_2 =$	95

Para $n_1=8$ y $n_2=10$
 $w_{0.05} = 53$

w_1 y $w_2 > w_{0.05}$
 76 y 95 > 53

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula
 de que $media_1 = media_2$

- “RECICLABLES”

- Comerciables

Comerc. n_1 %	Rango
4.50	1
10.98	2
12.77	3
55.60	9
65.79	11
73.20	13
85.87	17
92.33	18
$w_1 =$	74
Comerc. n_2 %	Rango
15.88	4
25.50	5
37.36	6
47.53	7
52.61	8
56.52	10
72.64	12
74.87	14
77.76	15
80.73	16
$w_2 =$	97

Para $n_1=8$ y $n_2=10$
 $w_{0.05} = 53$

w_1 y $w_2 > w_{0.05}$
 74 y $97 > 53$

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula
de que $media_1 = media_2$

- Comerciables ideales

Comerc. ideales n_1 %	Rango
0.00	1.5
0.00	1.5
10.82	3
55.60	10
57.98	12
66.90	14
84.01	17
87.61	18
$w_1 =$	77
Comerc. ideales n_2 %	Rango
11.49	4
13.98	5
18.44	6
22.57	7
23.69	8
28.44	9
56.52	11
60.81	13
74.87	15
80.73	16
$w_2 =$	94

Para $n_1=8$ y $n_2=10$
 $w_{0.05} = 53$

w_1 y $w_2 > w_{0.05}$
 77 y 94 > 53

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula
 de que $m_1 = m_2$

ANEXO C

Encuestas aplicadas

- **C.1 Encuesta aplicada en las Etapas I y II**

Programa de maestría en Ingeniería Ambiental (UNAM)
“Propuesta de mejora a la clasificación de los residuos sólidos domiciliarios para su separación”

Edificio: _____ **Encuestador(a):** _____
Departamento: _____ **No. de habitantes en el depto.:** _____
Fecha: _____ **Edades:** _____

1) Califique el grado de dificultad de la separación de residuos según lo establece la Ley de Residuos Sólidos del D.F. (orgánicos e inorgánicos), en una escala del 1 al 4, siendo el 1 el menor grado de dificultad y el 4 el mayor?

1 Fácil _____ 3 Difícil _____
2 Moderada _____ 4 Muy difícil _____

2) Califique el grado de dificultad de la separación propuesta (reciclables y otros), en una escala del 1 al 4, siendo el 1 el menor grado de dificultad y el 4 el mayor?

1 Fácil _____ 3 Difícil _____
2 Moderada _____ 4 Muy difícil _____

3) ¿Se le presentó alguna confusión o dificultad al separar en orgánicos e inorgánicos?

- a) Sí
- b) No

Si la respuesta es No, pasar a la pregunta 5

4) ¿Qué confusión o dificultad se le presentó al separar en orgánicos e inorgánicos?

5) ¿Se le presentó alguna confusión o dificultad al separar en reciclables y otros?

- a) Sí _____
- b) No _____

Si la respuesta es No, pasar a la pregunta 7

6) ¿Qué confusión o dificultad se le presentó al separar en reciclables y otros?

Si la respuesta de la pregunta 2 fue un número mayor que el de la pregunta 1, conteste la siguiente pregunta:

7) ¿Estaría dispuesto a separar sus residuos de la manera propuesta (reciclables y otros) si esto produjera mayores beneficios ambientales?

- a) Sí ____
- b) No ____

8) Como continuación de este estudio se pretende realizar una etapa complementaria que consistiría en separar sus residuos inorgánicos en 5 clasificaciones (metal, vidrio, plástico, papel/cartón y otros) por un período de una semana, ¿estaría en la disposición de participar?
Nota: se proporcionarían las bolsas o contenedores a usar.

- a) Sí ____
- b) No ____

Si la respuesta es No, pasar a la pregunta 9

9) ¿Por qué razón no participaría?

- C.2 Encuesta aplicada en la Etapa III

Programa de maestría en Ingeniería Ambiental (UNAM)

“Propuesta de mejora a la clasificación de los residuos sólidos domiciliarios para su separación”

Edificio: _____ **No. de habitantes en el depto.:** _____
Departamento: _____ **Edades:** _____
Fecha: _____ **Grados:** _____

1) Califique el grado de dificultad de la separación de residuos propuesta (5 clasificaciones aparte de los orgánicos y sanitarios) en una escala del 1 al 4, siendo el 1 el menor grado de dificultad y el 4 el mayor?

- 1 Fácil ____
- 2 Moderada ____
- 3 Difícil ____
- 4 Muy difícil ____

3) ¿Se le presentó alguna confusión o dificultad al separar en esas 5 clasificaciones?

- a) Sí
- b) No

Si la respuesta es No, pasar a la pregunta 4

4) ¿Qué confusión o dificultad se le presentó al separar así?

5) ¿Estaría dispuesto a separar sus residuos de la manera propuesta (5 clasificaciones) si esto produjera mayores beneficios ambientales?

a) Sí ____

b) No ____

Si la respuesta es No, pasar a la pregunta 6

6) ¿Por qué razón no estaría dispuesto?

7) ¿Cuál considera que sería el principal problema de separar sus residuos de esta manera?

ANEXO D

Resultados de las encuestas

➤ **Etapas I y II**

En las Tablas D.1 y D.2 se aprecia en la 2ª columna la cantidad de habitantes que vivía en el departamento participante, en la 3ª columna la edad promedio de las edades de dichos habitantes y de la 4ª a la 8ª columna las respuestas que el entrevistado dio a las preguntas cerradas de la encuesta aplicada.

Tabla D.1 Resultados de las encuestas aplicadas en la Etapa I

Depto.	No. hab.	Edad promedio (años)	Preguntas				
			1	2	3	5	7
a	2	72	3	3	a	a	a
b	3	34	1	3	b	a	a
c	3	40	1	4	b	b	a
d	1	62	3	2	a	a	a
e	2	65	1	2	b	a	a
f	3	39	2	2	b	b	a
g	3	56	1	3	b	a	a
h	3	51	4	2	b	a	a

Tabla D.2 Resultados de las encuestas aplicadas en la Etapa II

Depto.	No. hab.	Edad promedio (años)	Preguntas				
			1	2	3	5	7
j	4	43	1	3	b	a	a
k	3	24	1	1	b	b	a
l	4	62	1	2	a	a	a
m	3	30	1	3	b	a	a
n	3	45	1	1	b	b	a
o	4	28	1	2	b	b	a
p	2	25	1	1	b	b	a
q	5	53	1	1	b	b	a
r	3	31	1	1	b	b	a
s	1	36	1	1	b	b	a

➤ **Etapa III**

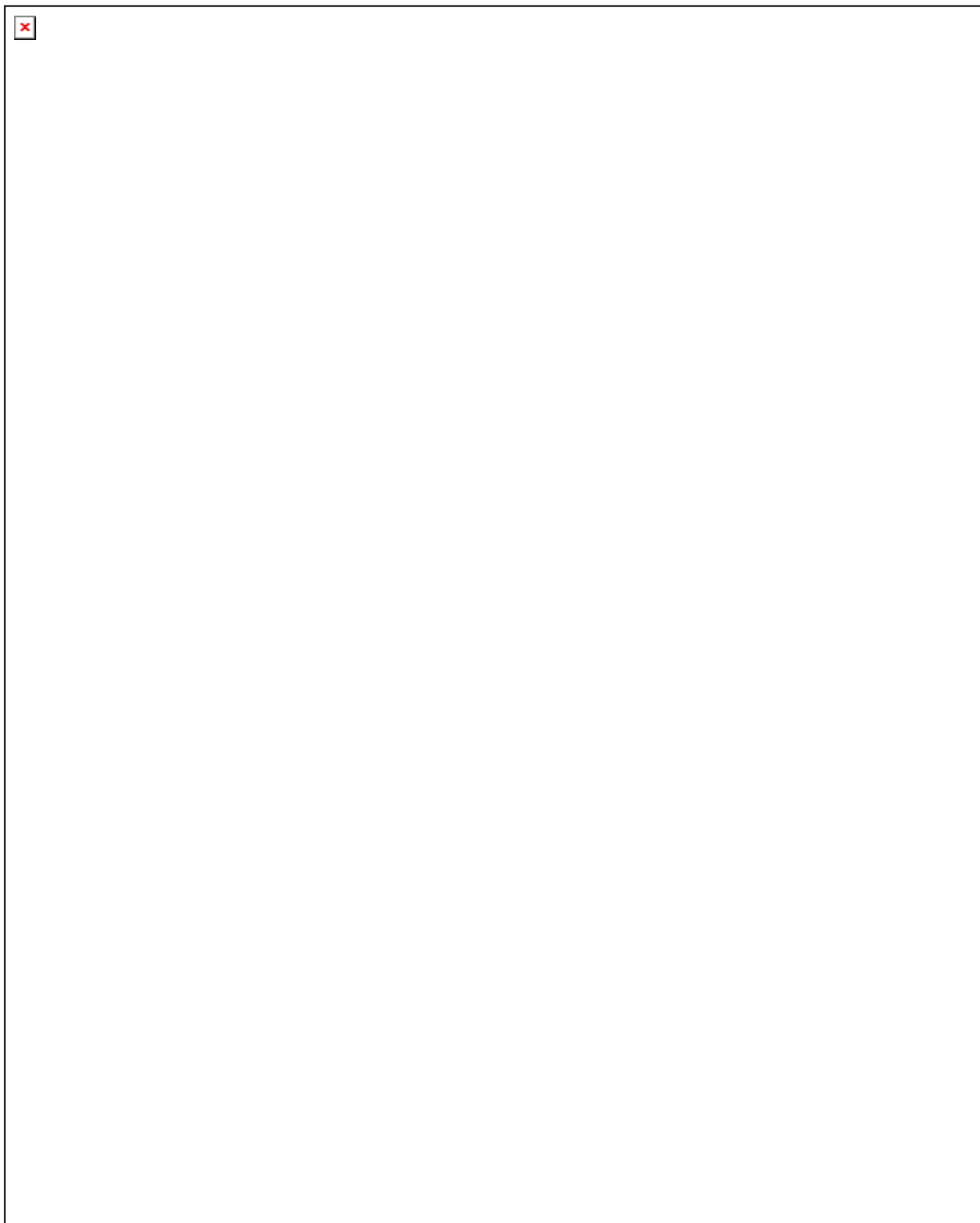
En la Tabla D.3 se aprecia en la 2ª columna la cantidad de habitantes que vivía en el departamento participante, en la 3ª columna la edad promedio de las edades de dichos habitantes, en la 4ª columna el grado de escolaridad máximo alcanzado por algún habitante del departamento, de la 5ª a la 7ª columna las respuestas que el entrevistado dio a las preguntas cerradas de la encuesta aplicada y en la 8ª columna las respuestas dadas al cuestionamiento abierto de cuál consideraba el entrevistado que sería el principal problema de separar los residuos en 5 clasificaciones.

Tabla D.3 Resultados de las encuestas aplicadas en la Etapa III

Depto.	No. hab.	Edad promedio (años)	Grado de escolaridad	Preguntas			
				1	2	4	6
c	3	40	Maestría	1	b	a	Espacio
e	2	65	Maestría	3	a	a	Recolección
g	3	56	Licenciatura	1	a	a	Espacio
j	4	43	Licenciatura	2	a	a	Espacio
k	3	24	Maestría	1	b	a	-
l	4	62	Licenciatura	2	b	a	Espacio
m	3	30	Licenciatura	2	a	a	Espacio
p	2	25	Est. Maestría	1	b	a	Espacio
q	5	53	Licenciatura	2	b	a	-
s	1	36	Licenciatura	1	b	a	Espacio

ANEXO E

Plano de la Unidad Habitacional Villa Olímpica



BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, L. 2002. Diccionario de aztequismos. Revisado por J. I. Dávila Garibi (términos nahuas) y E. Inciarte (latín). Colofón, S.A. 5ª Ed. 107 P. México D.F., México.
- City of Chicago. 2005. Blue Bag Program. Fecha de consulta: Diciembre, 2005. Disponible en redes internacionales: <http://www.cityofchicago.org>
- Cmíral, M. 2003. Mitigación de emisiones de CH₄. Fecha de consulta: Junio, 2006. Disponible en redes internacionales: http://www.cleanairnet.org/lac/1471/articles-58337_recurso_1.pdf
- Department of Sanitation of New York City. 2005. NYCWasteLe\$\$. Fecha de consulta: Diciembre, 2005. Disponible en redes internacionales: http://www.nyc.gov/html/nycwasteless/html/recycling/recycling_nyc.shtml
- Djolov, G. 2002. An equal variante test. Estudios de economía, 29 (2). Fecha de consulta: Junio, 2006. Disponible en redes internacionales: www.econ.uchile.cl/ede/v29-2-h.pdf
- Hernández-Cano, G., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C. 2004. Aprovechamiento integral de biogás de rellenos sanitarios activos y clausurados. Serie: Química Ambiental de las Substancias y Residuos Peligrosos. Vol. 4. Pub. PIQAYQA, UNAM. México D.F. México.
- JICA. 1999. Estudio para el Manejo de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México para los Estados Unidos Mexicanos. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Vol. I). Kokusai Kogyo Co., LTD.

- INE. 2005. La situación de los residuos sólidos en México. Instituto Nacional de Ecología (INE). Última actualización: 31 de marzo, 2005. Fecha de consulta: Mayo, 2006. Disponible en redes internacionales: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/345/sresiduos.html>
- LRSDF. 2003. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF). Gaceta Oficial del Distrito Federal. 22 de abril, 2003. México D.F., México.
- López, M. 2005. Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU). Dirección Técnica. Comunicación oral. México D.F., México.
- Lund, H. 1993. The McGraw-Hill recycling handbook. McGraw-Hill, Inc. Nueva York, EEUUA.
- Montgomery, D. C. 2002. Diseño y análisis de experimentos. Ed. Limusa, S.A. de C.V. México D.F., México.
- Montgomery, D. C., Runger, G. C. 2002. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Ed. Limusa, S.A. de C.V. México D.F., México.
- PGGIRS. 2004. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Programa General de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGGIRS). México D.F., México.
- Platzcek, M. E., Campaña, H. 2002. Diseño y evaluación de estrategias para la gestión de residuos sólidos urbanos. Fecha de consulta: Julio, 2006. Disponible en redes internacionales: http://www.cit.org.ar/archivos_cit/contenido_cit/documentos/rsu.html
- Robinson, W. 1986. The solid waste handbook. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York, EEUUA.

- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 1999. Evaluación de desempeño de plantas de separación de residuos sólidos urbanos. Fecha de consulta: Julio, 2006. Disponible en redes internacionales: http://www2.medioambiente.gov.ar/calidad/programas/asentamientos/pnvr/documentos_evaluacion.htm
- ITESM. 2004. Revisan generación de energía a partir de basura en coloquio internacional. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Revista Transferencia, 17 (66). Fecha de consulta: Junio, 2006. Disponible en redes internacionales: <http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/66/66-1.08.html>
- Wikipedia. 2005a. Nueva York. Fecha de consulta: diciembre 2005. Disponible en redes internacionales: http://es.wikipedia.org/wiki/Nueva_York
- Wikipedia. 2005b. Chicago. Fecha de consulta: diciembre, 2005. Disponible en redes internacionales: <http://es.wikipedia.org/wiki/Chicago>

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (NO CITADA EN EL TEXTO)

- Acurio, G. 1998. Diagnóstico de la situación del manejo de los residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. Organización Panamericana de la Salud. Washington D.C., EEUUA.
- Bambi. 1993. Basura de Oro. Plaza y Valdés Editores, México D.F., México.
- Castillo-Berthier, H. F. 1983. La sociedad de la basura: Caciquismo en la Ciudad de México. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, Cuadernos de Investigación Social No. 9, México D.F., México.
- Díaz, L. F. 1993. Composting and recycling municipal solid waste. Lewis Publishers. Florida, EEUUA.

- GDF. 2005. Residuos sólidos. Secretaría del Medio Ambiente. Fecha de consulta: Febrero, 2005. Disponible en redes internacionales: <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/>
- Harlow, R. 1998. Basura y reciclaje. Traducido por María Rodríguez. Everest. León, España.
- INE. 2004. Elementos para una política nacional de manejo de residuos urbanos. Instituto Nacional de Ecología (INE). Fecha de consulta: Septiembre, 2004. Disponible en redes internacionales: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/gaceta36/g9536391.htm?idpub=230>
- Pfeffer, J. T. 1992. Solid waste management engineering. Prentice Hall. Nueva Jersey, EEUUA.
- Ramírez, C. 2004. Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU). Comunicación oral. México D.F., México.
- Rhyner, Ch., Schwartz, L. J., Wenger, R. B., Kohrell, M. G. 1995. Waste management and resource recovery. Lewis Publishers. Florida, EEUUA.
- SEMARNAT. 2005. Cruzada nacional por un México Limpio. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Fecha de consulta: Mayo, 2005. Disponible en redes internacionales: <http://www.semarnat.gob.mx/estados/slp/mexicolimpio/contacopio.htm>
- Stessel, R. I. 1996. Recycling and resource recovery engineering: principles of waste processing. Springer. Nueva York, EEUUA.

- Swartzbaugh, J. 1993. Recycling equipment and technology for municipal solid waste: Material recovery facilities. NDC. Nueva Jersey, EEUA.
- Tchobanoglous, G. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Traducido por Tejero Monzón I. y Gil Díaz J. L. (2 vols.). McGraw-Hill, Inc. Madrid, España.
- Vesilind, A., Rimer, A. 1981. Unit operations in resource recovery engineering. Prentice-Hall. Nueva Jersey, EEUA.