
ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON FINES ENERGÉTICOS



INFORME 2:
CANELONES, SAN JOSÉ, MELO,
TACUAREMBÓ, SALTO Y PAYSANDÚ

Informe 2
Abril 2013

LKSur

ÍNDICE

1	Introducción	6
2	Objetivo General.....	7
3	Nomenclatura	8
4	Objeto de este informe	9
5	Metodología de trabajo.....	10
5.1	Consideraciones generales	10
5.2	Determinación de la cantidad mínima de muestras a analizar	10
5.3	Metodología de muestreo	11
5.4	Proceso de muestreo y clasificado de las fracciones.....	12
5.5	Procesamiento de los datos.....	15
6	SDF Cañada Grande, CANELONES	16
6.1	Área de Estudio.....	16
6.1.1	Gestión de residuos en Canelones.....	16
6.1.2	Sitio de Disposición Final (SDF)	17
6.2	Diseño del plan de muestreo	18
6.2.1	Datos previos de caracterización de los RSU	18
6.2.2	Datos poblacionales	20
6.2.3	Cálculo de número mínimo de muestras necesarias.....	21
6.2.4	Plan de muestreo	22
6.3	Trabajo desarrollado.....	24
6.3.1	Muestreo.....	24
6.3.2	Corrección por finos.....	25
6.3.3	Determinación de la composición física de los RSD	27
6.3.4	Determinación de la Densidad Aparente.....	29
6.3.5	Determinación del Poder Calorífico Teórico.....	29
6.3.6	Validación del número de muestras vehiculares.....	31
6.4	Discusión de los resultados.....	32
6.4.1	Composición Física de los residuos.....	32

6.4.2	Densidad Aparente.....	34
6.4.3	Poder Calorífico Teórico.....	34
7	SDF LA PEDRERA, MELO	36
7.1	Área de Estudio.....	36
7.1.1	Gestión de residuos en Melo	36
7.1.2	Sitio de Disposición Final (SDF)	37
7.2	Diseño del plan de muestreo	38
7.2.1	Datos previos de caracterización de los RSU	38
7.2.2	Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos	38
7.2.3	Datos poblacionales	40
7.2.4	Cálculo de número mínimo de muestras necesarias.....	40
7.2.5	Plan de muestreo	41
7.3	Trabajo desarrollado.....	43
7.3.1	Muestreo.....	43
7.3.2	Corrección por finos.....	45
7.3.3	Determinación de la composición física de los RSD	47
7.3.4	Determinación de la Densidad Aparente.....	48
7.3.5	Validación del número de muestras vehiculares	48
7.4	Discusión de los resultados.....	50
7.4.1	Composición Física de los residuos.....	50
7.4.2	Densidad Aparente.....	51
8	SDF PAYSANDÚ, PAYSANDÚ	52
8.1	Área de Estudio.....	52
8.1.1	Gestión de residuos en Paysandú	52
8.1.2	Sitio de Disposición Final (SDF)	53
8.2	Diseño del plan de muestreo	54
8.2.1	Datos previos de caracterización de los RSU	54
8.2.2	Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos	54
8.2.3	Datos poblacionales	55
8.2.4	Cálculo de número mínimo de muestras necesarias.....	56
8.2.5	Plan de muestreo	57
8.3	Trabajo desarrollado.....	57

8.3.1	Muestreo	57
8.3.2	Corrección por finos	58
8.3.3	Determinación de la composición física de los RSD	60
8.3.4	Determinación de la Densidad Aparente	61
8.3.5	Validación del número de muestras vehiculares	61
8.4	Discusión de los resultados	62
8.4.1	Composición Física de los residuos	62
8.4.2	Densidad Aparente	65
9	SDF SALTO, SALTO	66
9.1	Área de Estudio	66
9.1.1	Gestión de residuos en Salto	66
9.1.2	Sitio de Disposición Final (SDF)	67
9.2	Diseño del plan de muestreo	68
9.2.1	Datos previos de caracterización de los RSU	68
9.2.2	Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos	68
9.2.3	Datos poblacionales	69
9.2.4	Cálculo de número mínimo de muestras necesarias	70
9.2.5	Plan de muestreo	71
9.3	Trabajo desarrollado	71
9.3.1	Muestreo	71
9.3.2	Corrección por finos	72
9.3.3	Determinación de la composición física de los RSD	74
9.3.4	Determinación de la Densidad Aparente	75
9.3.5	Validación del número de muestras vehiculares	75
9.4	Discusión de los resultados	77
9.4.1	Composición Física de los residuos	77
9.4.2	Densidad Aparente	78
10	SDF SAN JOSÉ, SAN JOSÉ	79
10.1	Área de Estudio	79
10.1.1	Gestión de residuos en San José	79
10.1.2	Sitio de Disposición Final (SDF)	80
10.2	Diseño del plan de muestreo	81

10.2.1	Datos previos de caracterización de los RSU	81
10.2.2	Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos	81
10.2.3	Datos poblacionales	83
10.2.4	Cálculo de número mínimo de muestras necesarias	83
10.2.5	Plan de muestreo	84
10.3	Trabajo desarrollado.....	85
10.3.1	Muestreo.....	85
10.3.2	Corrección por finos.....	86
10.3.3	Determinación de la composición física de los RSD	88
10.3.4	Determinación de la Densidad Aparente.....	89
10.3.5	Determinación del Poder Calorífico Teórico.....	89
10.3.6	Validación del número de muestras vehiculares.....	91
10.4	Discusión de los resultados.....	93
10.4.1	Composición Física de los residuos.....	93
10.4.2	Densidad Aparente	94
10.4.3	Poder Calorífico Teórico.....	94
11	SDF TACUAREMBÓ, TACUAREMBÓ.....	96
11.1	Área de Estudio.....	96
11.1.1	Gestión de residuos en Tacuarembó	96
11.1.2	Sitio de Disposición Final (SDF)	97
11.2	Diseño del plan de muestreo	98
11.2.1	Datos previos de caracterización de los RSU	98
11.2.2	Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos	98
11.2.3	Datos poblacionales	99
11.2.4	Cálculo de número mínimo de muestras necesarias	99
11.2.5	Plan de muestreo	100
11.3	Trabajo desarrollado.....	101
11.3.1	Muestreo.....	101
11.3.2	Corrección por finos.....	102
11.3.3	Determinación de la composición física de los RSD	103
11.3.4	Determinación de la Densidad Aparente.....	105
11.3.5	Validación del número de muestras vehiculares.....	105

11.4	Discusión de los resultados.....	106
11.4.1	Composición Física de los residuos.....	106
11.4.2	Densidad Aparente	108
12	ESTIMACION DEL PODER CALORIFICO INFERIOR TEÓRICO DE UN AREA COMPUESTA POR MONTEVIDEO, CANELONES Y CIUDAD DEL PLATA (SAN JOSE).	109
12.1	Composición Física Media del Área	109
13	Discusión General de Resultados	112
13.1	Composición Física de los RSD	112
13.2	Densidad Aparente de los RSD	119
13.3	Poder Calorífico Inferior en Montevideo, Canelones, San José y Area supradepartamental (Montevideo, Canelones y Ciudad del Plata)	120
13.4	Toneladas ingresadas de RSD y Residuos de pequeños generadores en los SDF	121
14	CONCLUSIONES	125
15	Fuentes Consultadas	127

1 INTRODUCCIÓN

Este Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se realiza como consecuencia de la aceptación de la oferta de LKSur presentada en concurso público en octubre de 2012, cuyo promotor es Alcoholes del Uruguay S.A. (ALUR), y dentro del acuerdo realizado por ALUR con la Dirección Nacional de Energía (DNE). Esta caracterización se realiza para los RSU de la ciudad de Montevideo y en las capitales departamentales de Salto, Paysandú, Tacuarembó, San José y Cerro Largo (Melo), y en el SDF de Canelones.

Durante el periodo comprendido entre Enero y Marzo de 2013, se han llevado a cabo los trabajos de muestreo en seis SDF de los departamentos mencionados en el párrafo anterior. Las diferentes tareas de muestreo se realizaron siguiendo lo establecido en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

Cabe destacar que se ha contado con la inestimable colaboración en el estudio, de los técnicos de ALUR y DNE, así como del personal de las Intendencias y del MIDES, y de manera muy especial, de los clasificadores que trabajaron con nosotros. En cada sitio se ha seleccionado un equipo de clasificadores, los que luego de recibir las instrucciones correspondientes para la buena ejecución de las tareas, han participado bajo nuestra dirección, de todo el proceso de homogeneización, cuarteo y clasificación de las distintas fracciones que componen los RSU de las diferentes ciudades.

El equipo técnico que desarrolló este Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos está compuesto por:

Cargo del proyecto	Nombre
Jefe de Proyecto Local	Ing. MBA Nicolás Reherrmann
Asesor Internacional Experto en Residuos	Ing. Johann Schmal
Coordinadores Generales	Ing. H/S Gabriel dos Santos Ing. Carmen Fuentes Ing. MSc. Alejandra Benítez
Equipo de Apoyo	Arq. Iñigo Ezquerro Ay. Claudio Buzzi

A su vez para las tareas de clasificación manual se contó con equipos de clasificadores de entre 7 y 10 personas dependiendo del volumen a muestrear.

2 OBJETIVO GENERAL

Este estudio tiene como objeto obtener información sobre la composición de los RSU en las ciudades de Montevideo, Salto, Paysandú, Tacuarembó, Melo, Canelones y San José, así como el poder calorífico y contenido en humedad de los RSD que llegan al sitio de disposición final de Felipe Cardoso, en Montevideo. El trabajo facilitará a la Administración decidir qué modelos son los más adecuados para la gestión de residuos, y además podrá servir como precedente para futuros estudios o proyectos.

Este trabajo se centra en la caracterización de los RSD que son destinados a eliminación, por lo que las tareas de muestreo se realizan en los lugares de deposición final o vertederos. El desarrollo del mismo se ha realizado en dos etapas:

ETAPA 1: Esta se desarrolla en diciembre 2012. En ella se realiza el estudio de caracterización de RSD con fines de valorización energética, en el SDF de Felipe Cardoso de Montevideo. En este caso, las operaciones realizadas fueron:

- 1.- Identificación de las cantidades reales de residuos en peso y en volumen que reciben a diario.
- 2.- Estimación de las diferentes fracciones que componen los RSD en porcentaje % en peso.
- 3.- Determinación en laboratorio de la Humedad y el Poder Calorífico, que permitan evaluar alternativas de valorización energética.

ETAPA 2: Entre enero a marzo 2013, se realiza el estudio de caracterización para obtener una línea de base de RSU, en varias ciudades del país:

- Sitio de Cañada Grande, departamento de Canelones,
- Sitio de Melo, departamento de Cerro Largo,
- Sitio de Paysandú, departamento de Paysandú,
- Sitio de San José, departamento de San José,
- Sitio de Salto, departamento de Salto
- Sitio de Tacuarembó, departamento de Tacuarembó.

En este caso, la única operación realizada ha sido la Estimación de las diferentes fracciones que componen los RSU en porcentaje % en peso. Puesto que al no existir balanzas en los vertederos, ha sido imposible realizar una identificación de las cantidades reales de residuos (en peso y en volumen) que reciben a diario. Si bien, en su mayoría sí disponen de alguna campaña de pesaje de corta duración (una semana) de los camiones recolectores que entran a vertedero, la misma no permite conocer las cantidades y procedencias de la totalidad de los residuos que ingresan al sitio.

3 NOMENCLATURA

A continuación se definen los términos utilizados en el documento:

COMBUSTIBLE DERIVADO DE RESIDUOS (CDR): Combustible obtenido a través de una fracción segregada y triturada de los residuos sólidos urbanos que presentan un alto poder calorífico.

MUESTRA PRIMARIA: Es la carga vehicular o procedente del camión que realiza la recolección en el área seleccionada para su estudio.

MUESTRA SECUNDARIA: Es la muestra que después de sucesivos cuarteos y homogeneizaciones, queda como representativa del camión estudiado. Suele pesar entre 150 kg a 300 kg. Con ella se ha determinado la composición en peso de los RSU y la Densidad Aparente.

MUESTRA Terciaria: Es la muestra obtenida de sucesivos cuarteos y homogeneizaciones de la muestra secundaria. Suele pesar entre 90 kg y 150 kg. Esta muestra es la que se ha triturado y homogeneizado, y nos ha permitido tomar muestras de 2 kg para enviar a laboratorio.

MUESTRA REPRESENTATIVA (MR): Muestra obtenida que muestra la composición inalterada y fiel de los RSU a estudiar.

MUESTRA MODIFICADA (MM): Muestra resultante del reciclado de una masa de RSU. Es decir, muestra que contiene únicamente las fracciones no valorizables.

PODER CALORÍFICO (PC): es una característica intrínseca del material. Y se define como la cantidad de calor desprendida en la combustión completa por unidad de masa. Sus expresiones más comunes son Kcal/Kg.

PODER CALORIFICO INFERIOR (PCI): es la cantidad de calor por volumen de combustible cuando se considera el combustible en base húmeda, y por tanto la vaporización del agua formada en la combustión.

PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS): El poder calorífico superior es la cantidad de calor que desprende un combustible en base seca y sin considerar la cantidad de calor necesaria para vaporizar el agua que se forma durante la combustión.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): Residuos originados por una colectividad dentro de una actividad doméstica, comercial e institucional, así como de los procedentes de la limpieza del espacio público de los núcleos habitados.

RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD): Residuos sólidos generados por actividades propias realizadas en las viviendas o en cualquier establecimiento semejante a aquellas.

4 OBJETO DE ESTE INFORME

Este informe refleja las tareas realizadas en la **ETAPA2**. Las operaciones de caracterización se han desarrollado durante los meses de enero, febrero y marzo de 2013 en los diferentes SDF de las ciudades departamentales tal y como se ha comentado anteriormente, según se detallan a continuación:

1.- Estimación de las cantidades de residuos domiciliarios en peso que se reciben a diario en el SDF y la densidad aparente de los mismos.

2.- Estimación de las diferentes fracciones que componen los RSD en peso y en porcentaje (%) en peso.

Una vez realizados esta serie de trabajos, se ha procedido a la interpretación de los mismos para poder extraer las conclusiones que se exponen a lo largo de este informe.

5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1 Consideraciones generales

Dada la heterogeneidad de los Residuos Domiciliarios (RSD), principal componente de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), la calidad de los residuos obtenidos va a depender fundamentalmente de la fiabilidad de las muestras tomadas. Es por ello, que resulta importante la correcta selección de los itinerarios a muestrear y su representatividad en el conjunto de los residuos generados en la ciudad, donde debería tenerse en cuenta también las variaciones estacionales.

Las muestras tomadas deben tratarse de forma cuidada atendiendo a una normativa establecida para poder llegar a efectuar estudios comparativos. En este caso, los procedimientos seguidos se basan en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

Previo al inicio de las tareas de estudio propias de este proyecto, es imprescindible la planificación de las mismas para poder comenzar a operar de manera fiable. Así, es fundamental diseñar un plan de muestreo que indique cuántas muestras se debían tomar en el SDF y cuál era su procedencia, para que los resultados finales de composición de los residuos fueran representativos del conjunto de la ciudad departamental.

Este plan de muestreo se apoya sobre los datos existentes de caracterizaciones de residuos previas realizadas en los distintos departamentos, los datos del censo poblacional de la ciudad, la distribución de los recorridos de recogida de RSU, las diferentes zonas de niveles socioeconómicos y sobre el cálculo de las muestras mínimas necesarias que aseguren la representatividad.

La primera consideración a tener en cuenta a la hora de diseñar el plan de muestreo, es la existencia de limitación en la duración del proyecto de muestreo. Sería importante la realización de la caracterización en diferentes campañas de muestreo coincidiendo con las cuatro estaciones del año, para que los resultados tengan un mayor grado de representatividad. En este caso, los muestreos se han llevado a cabo en un solo proceso de muestreo debido a los condicionantes contractuales.

5.2 Determinación de la cantidad mínima de muestras a analizar

Para la determinación del número mínimo de muestras vehiculares a muestrear, utilizaremos la fórmula propuesta por la norma ASTM D5231-92 "Standard Test Method for Determination on the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste.". Esta normativa supone los datos distribuidos según una Distribución t-Student:

$$n = \left[\frac{t * s}{e * \bar{x}} \right]^2$$

Siendo:

n = número de muestras, en este caso el número de camiones.

e = nivel de precisión deseado o error de muestreo admitido.

S = desviación estándar correspondiente al componente estudiado.

t = Valor estadístico referente al nivel de confianza planteado para el muestreo.

\bar{x} = Valor medio porcentual del componente respecto al total.

Los valores de t , se obtienen de la tabla 4 de la norma ASTM mencionada, también denominada "tabla de la t de Student". Éstos se consiguen a partir del número de muestras y del grado de confianza seleccionado, en este caso del 90%.

Tanto la media (\bar{x}) como la desviación típica (S), son términos que se obtienen de datos bibliográficos referentes a estudios de caracterización de residuos realizados con anterioridad.

El cálculo de número mínimo de muestras se inicia tomando una t correspondiente a $n = \infty$ (distribución Normal) para un nivel de confianza del 90%. Aplicando la fórmula expuesta en la norma ASTM se obtiene un primer número de muestras. Es necesario repetir esta operación tantas veces como sean necesarias hasta que los dos últimos valores de n difieran en menos del 10% o se llegue a una situación en la que éstos se repitan de manera cíclica. Una vez acabado el tanteo, se tomará el mayor número de muestras entre los dos últimos valores.

5.3 Metodología de muestreo

Como se ha comentado anteriormente, para la caracterización de estos RSU, se ha aplicado la Norma ASTM D 5231-92 (American Society for Testing and Materials). Esta Norma establece los procedimientos que nos permitirán determinar la composición media de los RSU, en base a un número representativo de muestras aleatorias. También se ha tenido en cuenta la Norma IRAM 29523 para la determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo.

El trabajo desarrollado ha consistido en:

1.- Muestreo de las cargas vehiculares aleatorias de RSD de entrada al SDF, procediendo a su homogeneización y cuarteo para obtener, de forma manual y mecánica muestras suficientemente representativas.

2.- Estimación de la Densidad Aparente de las muestras.

3.- Clasificación manual de muestras para estimar el porcentaje en peso de las diferentes fracciones que se han considerado: papel y cartón, pañales y apósitos, multilaminados (tetrabrik, etc), metales, plásticos film, plásticos botellas y plásticos otros, vidrio, textiles, desechos alimenticios, cuero y corcho, madera y jardinería, escombros, materiales compuestos (electrónicos, juguetes, etc.), y residuos peligrosos.

5.4 Proceso de muestreo y clasificado de las fracciones

La elección de los vehículos en una zona de recogida es totalmente aleatoria. Únicamente se consideraron los camiones recolectores de residuos domiciliarios procedentes de zonas residenciales y residenciales-comerciales, desechando aquellas unidades procedentes de recogida selectiva de residuos como podían ser escombros, papel y cartón de comercios, podas, muebles o enseres, residuos procedentes de la limpieza diaria, etc.

Todo vehículo a ser tenido en cuenta en la muestra, fue primeramente interrogado de manera tal de determinar el tipo de residuo recolectado, la fuente o lugar de origen de dicho residuo, y cualquier ítem inusual dentro de la carga. Aquellos donde se observaban mezclas de residuos comerciales o específicos, fueron desechados.

Una vez admitido como válido ese camión, se procedía a su descarga sobre una lona de plástico dispuesta en el terreno para aislar la muestra primaria de posibles contaminaciones procedentes del suelo.



Figura 5-1 Descarga del camión sobre la lona de plástico.

Se realiza la mezcla u homogeneización de los residuos descargados con medios mecánicos (una máquina combinada) y apoyo manual (7 operarios), y se cuarteo de forma sucesiva, hasta obtener una muestra de alrededor 200 - 300 kg.



Figura 5-2 Trabajo manual rompiendo bolsas



Figura 5-3 Cuarteo de la muestra.

A continuación se estima el Peso Volumétrico o Densidad aparente (kg/m^3). Para ello, los residuos son colocados y pesados en una tarrina, previamente tarada de 130 litros, que es zarandeada tres veces (para cubrir los espacios vacíos) y se vuelve a enrasar con residuos.

La muestra restante, se deposita encima de la mesa de clasificación para determinar los porcentajes en peso (%) de las diferentes fracciones de las que se compone. El proceso de clasificación en las diferentes fracciones, se realiza con una cuadrilla de 7 personas, 1 persona de apoyo logístico y el coordinador de campo. Las muestras fueron separadas en 16 categorías.



Figura 5-4. Trabajo de caracterización sobre la mesa.

Una vez finalizada la clasificación, se procede al pesado de las diferentes fracciones, obteniendo la composición física de los RSD en peso, expresada en %.

5.5 Procesamiento de los datos

Los datos obtenidos se van anotando en unas planillas de campo, que luego fueron introducidos digitalmente para su análisis. Las fracciones separadas fueron las presentadas en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Descripción de la selección.

COMPONENTES	
Papel y Cartón	Papeles oficina, Cartones, Revistas, Periódicos, envases, bolsas papel
Pañales y apósitos	Pañales descartables y apósitos
Multilaminados (Tetrabrik)	Envases multicapas de diferentes materiales
Metales	Ferrosos y no ferrosos
Plásticos	Film: bolsas, envoltorios, etc.
	Botellas: agua, zumos, refrescos
	Otros
Vidrio	Vidrios transparentes y de colores
Textiles	
Desechos Alimenticios	Restos de comida
Goma, Cuero, Corcho	
Madera y jardinería	Restos de jardinería y poda, aglomerados, restos de madera
Escombros	Residuos de la construcción y demolición
Materiales Compuestos	Productos compuestos por varios materiales. Ej.: juguetes, electrónicos, cables, etc.
Residuos Peligrosos	Botes de pintura, filtros de automoción, pilas, etc.
Inertes Pétreos	Tierras y suelo

Para completar el cálculo de los porcentajes en peso de las diferentes fracciones que componen los RSU, se realizó una corrección de la fracción fina (tamaños inferiores a 20 mm) que atravesó la malla de la mesa de clasificación.

6 SDF CAÑADA GRANDE, CANELONES

6.1 Área de Estudio

6.1.1 Gestión de residuos en Canelones

En el departamento de Canelones, la recolección de RSU se organiza en 7 zonas o microrregiones, que derivan los residuos recogidos a una Estación de Transferencia, ubicada en Las Piedras, o directamente al Sitio de Disposición Final de Cañada Grande situado en el Municipio de Empalme Olmos.

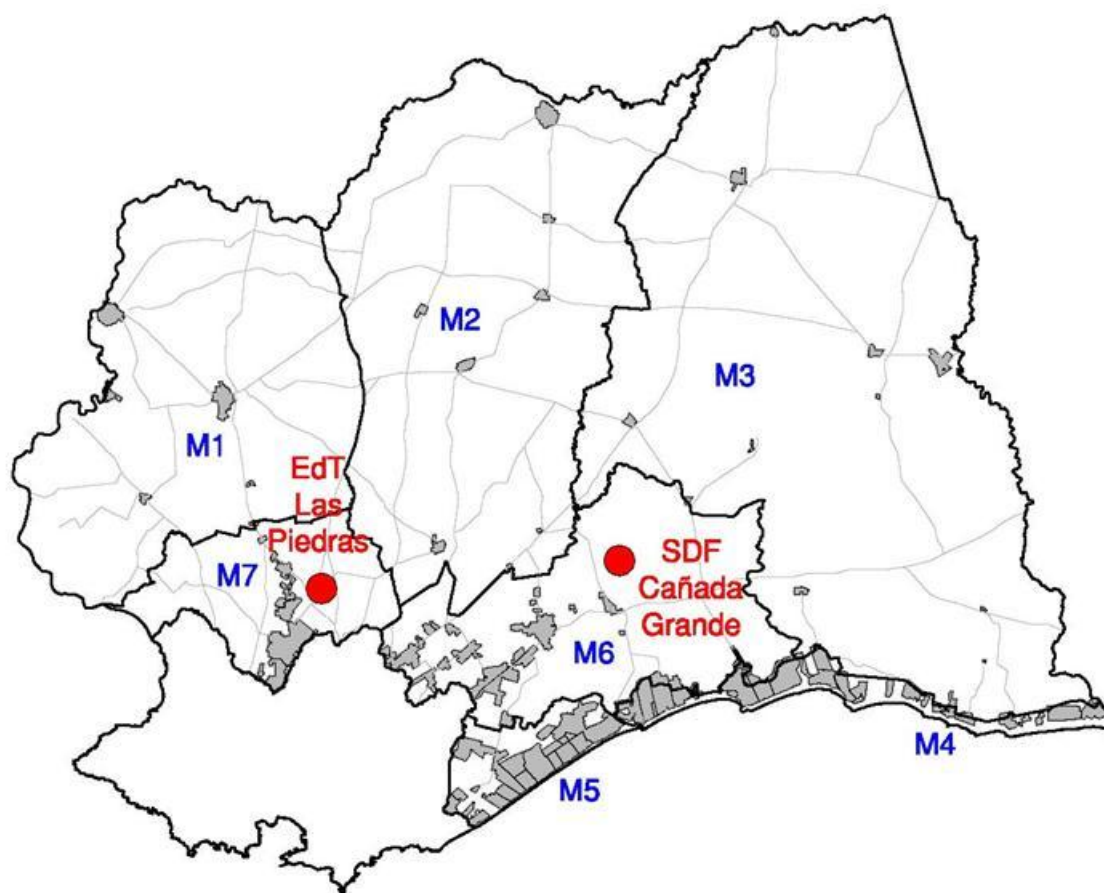


Figura 6-1 Delimitación de las Microrregiones en las que se divide la gestión de residuos, ubicación del SDF de Cañada Grande y la Estación de Transferencia de Las Piedras.

En la Tabla 6-1 se sintetizan las características de cada una de las zonas o Micro-Regiones en las que se divide la Gestión de Residuos en el Departamento de Canelones.

Tabla 6-1. Descripción de las características de recolección de las Micro-Regiones de Canelones.¹

	Municipios	Gestión	Tipo de Servicio	Descarga
MICRO REGIÓN 1	Aguas Corrientes, Canelones, Los Cerrillos, Santa	Gestión Pública	Contenedores públicos; Recolección Manual	Estación de Transferencia
MICRO REGIÓN 2	San Antonio, San Bautista, San Ramón, Santa Rosa,	Gestión Pública	Recolección Manual	SDF Cañada Grande
MICRO REGIÓN 3	Tala, Migue, Montes, San Jacinto, Soca	Gestión Pública	Recolección Manual	SDF Cañada Grande
MICRO REGIÓN 4	La Floresta, Parque del Plata, Atlántida, Salinas	Gestión Pública (Equipamiento SINAIE 2011)	Contenedores públicos	SDF Cañada Grande
MICRO REGIÓN 5	Ciudad de la Costa, Colonia Nicolich, Paso Carrasco	Servicios de Limpieza - Licitación 34/09 - Qualix-Ecotecno	Contenedores públicos; Recolección Manual	SDF Cañada Grande
MICRO REGIÓN 6	Empalme Olmos, Barros Blancos, Pando, Suárez,	Servicios de Limpieza - Licitación 02/08 - Qualix-Ecotecno	Contenedores públicos; Recolección Manual	SDF Cañada Grande
MICRO REGIÓN 7	La Paz, Las Piedras, Progreso	Servicios de Limpieza - Licitación 31/07 - Qualix-Ecotecno	Contenedores públicos; Recolección Manual	Estación de Transferencia

La Estación de Transferencia en Las Piedras se construyó para minimizar los costes logísticos que suponía trasladar los RSU directamente desde las localidades de Canelones, Las Piedras, La Paz, Progreso, Aguas Corrientes, Los Cerrillos y Santa Lucía hasta el SDF Cañada Grande. En el 2012 la Estación de Transferencia recibió una media de 3.832 Tm/mes.

Desde 2010 está funcionando el Plan de Gestión de Envases, donde se han establecido Circuitos Limpios que recogen a los comercios e industria, en el marco de la Ley de Envases (Ley N° 17.849). También se cuenta con un servicio de recolección de restos vegetales.

En el vertedero de Cañada Grande no existen clasificadores, puesto que el sitio ha prohibido su entrada.

Se realizan operaciones de recogida de residuos en el departamento de Canelones, durante los siete días de la semana con servicio de tres turnos, el matutino, el vespertino, y el nocturno.

6.1.2 Sitio de Disposición Final (SDF)

El departamento de Canelones cuenta con único Sitio de Disposición Final (SDF) llamado Cañada Grande, y con una Estación de Transferencia. En esta Estación, los camiones contenedores depositan los RSD recogidos, que son trasvasados a unidades vehiculares mayores para su traslado al vertedero de Cañada Grande, sin haber sufrido ningún tipo de valorización en la instalación de Las Piedras, tal y como informó la Intendencia.

¹ Fuente: Intendencia Municipal de Canelones. "Gestión de Residuos Sólidos en el Departamento de Canelones".

Este estudio de caracterización se realizó en el SDF que se encuentra en Empalme Olmos, Camino Mendiando y Camino Minas, en el kilómetro 40 de la Ruta 8 (departamento de Canelones). El sitio no dispone de balanza para el pesado de los camiones que ingresan, al contrario de la Estación de Transferencia, que sí dispone de ella. No obstante, según la Intendencia, periódicamente se pesan camiones contenedores de la recogida domiciliaria para tener una estadística de pesaje de los camiones contenedores de RSD.

De acuerdo con los datos aportados por la Intendencia, el sitio ha recibido durante el año 2011, **122.430 Toneladas**; y en el año 2012, **144.210 Toneladas de residuos domiciliarios y comerciales de pequeños generadores, así como los procedentes de la limpieza de basurales (endémicos y espontáneos)**, que se recogen por los circuitos de recogida formales. Dentro de estos valores no se incluyen los residuos que son canalizados por servicios específicos, como son los restos vegetales, los escombros, los residuos industriales y comerciales y los reciclados a través de la implementación de la Ley de Envases. No obstante, tanto en los contenedores como en los basurales se encuentran a menudo residuos vegetales y algunos comerciales mezclados, como consecuencia del mal uso del servicio.

Tabla 6-2 Características de Gestión de los residuos no domiciliarios de Canelones

Tipo de Residuos	Características de la gestión
Restos Vegetales	Cuentan con un servicio de recogida específico
Fracciones Reciclables	Separadas por el programa de Ley de Envases para su valorización
Escombros	Transportados por particulares o empresas en contenedores al SDF
Residuos industriales y comerciales	Son transportados por sus generadores hasta el sitio de disposición final, estación de transferencia o al programa de reciclaje

Fuente: Intendencia de Canelones

Los volúmenes de entrada al SDF de residuos de grandes generadores como los industriales y los comerciales, según información de Intendencia, se estima en 4.000 Tm/mes.

6.2 Diseño del plan de muestreo

Se ha seguido el procedimiento basado en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

6.2.1 Datos previos de caracterización de los RSU

La pre-caracterización de los RSU se ha realizado recopilando y consultando los antecedentes bibliográficos existentes disponibles, siendo estos:

1.- Tabla de producciones de RSU por localidades en los años 2011 y 2012. (IMCanelones).

2.- Ponencia sobre la Gestión de los RSU en el departamento de Canelones (Ing. A. Tarigo, 2012).

3.- Informe Anual de análisis de composición física y de parámetros fisicoquímicos de RSU en la Ciudad de la Costa (Consorcio EcoTecnó, 2012).

4.- Informe Anual de análisis de composición física y de parámetros fisicoquímicos de RSU en la Pando (Consortio EcoTeco, 2012).

5.- Informe Anual de análisis de composición física y de parámetros fisicoquímicos de RSU en Las Piedras (Consortio EcoTeco, 2012).

6.- Descripción de los circuitos de recogida de RSD aportado por la Intendencia.

7.- Reporte Ambiental 2012 (IMCanelones, 2012).

8.- Programa de modernización de la institucionalidad para la gestión y planificación ambiental (Arq. C. Lombardo, IMCanelones).

9.- Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomo I y Tomo II (CSI Ingenieros, 2011).

10.- Plan Director de RSU de Montevideo y Área Metropolitana. (Fichtner-LKSur, 2005).

Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos

Tal y como se ha comentado anteriormente, el departamento de Canelones está dividido en las 7 microrregiones o zonas de recogida de RSU ya mostradas en la Figura 6-1 y la Tabla 6-1.

Para diseñar el plan de muestreo, hay que tener en cuenta los datos poblacionales analizados más adelante, así como los niveles socioeconómicos que se observan en las distintas microrregiones de recogida. Para ello, se han consultado dos publicaciones que muestran algunos datos sobre este tema.

Por un lado, el estudio que realizó el CEISMU sobre el Índice de Nivel Socioeconómico en el 2012, donde únicamente se expone el reparto de dichos niveles *para el conjunto del departamento* sin ubicar estos niveles geográficamente². Esto supone que no se pueda seleccionar los recorridos de recogida de RSD para que dichos niveles estén representados en el plan de muestreo.

En la Tabla 6-3, se muestran los porcentajes de la población del Departamento de Canelones según su nivel socioeconómico.

Tabla 6-3. Niveles socioeconómicos del Departamento de Canelones, según el CEISMU.

Nivel Socioeconómico	Población INE 2011	%
Bajo-, Bajo+	180.486	34,70%
Medio-, Medio, Medio+	273.663	52,61%
Alto-, Alto+	67.941	13,06%
Total	520.173	100,00%

Por otro lado, el informe realizado por la consultora DDC³ refleja cuál es la

² CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)". 2012. Pág. 7.

³ DDC Consultores. "Informe final. Informe Ambiental Estratégico de Canelones". Pág. 24.

situación de vulnerabilidad social de algunos lugares de Canelones, pero no indica nada respecto a los niveles socioeconómicos.

En consecuencia, ante la falta de datos publicados sobre la distribución geográfica de los niveles socioeconómicos en el departamento, se ha consultado a personal de la Intendencia, según su conocimiento de la zona, el nivel socioeconómico de las diferentes localidades que ingresan en el vertedero de Cañada Grande. Con esta información, se pueden escoger de manera aleatoria los camiones provenientes de las diferentes zonas socioeconómicas, para así poder reflejar el tipo de residuos generado por los diferentes estratos socioeconómicos de Canelones.

Tabla 6-4. Niveles socioeconómicos de las localidades de Canelones, según el personal de la Intendencia.

Micro-Región	Localidad	Nivel Socioeconómico
M1 + M7	Estación Transferencia	Medio
M2	San Antonio	Medio
	San Bautista	Medio
	San Ramón	Medio
	Sauce	Medio
	Santa Rosa	MedioBajo
M3	Tala	Medio
	Migues	Bajo
	Montes	Bajo
	San Jacinto	Medio
	Soca	Medio
M4	La Floresta	Medio
	Parque del Plata	Medio
	Atlántida	MedioAlto
	Salinas	Bajo
M5	Ciudad de la Costa	Medio
	Nicolich	MedioBajo
	Paso Carrasco	MedioAlto
M6	Barros Blancos	Medio
	Empalme Olmos	Medio
	Pando	MedioAlto
	Toledo	Bajo
	Suárez	Medio

6.2.2 Datos poblacionales

Para determinar el peso específico de cada recorrido dentro del conjunto, es necesario conocer cuál es la población correspondiente a cada uno de ellos. Según los datos del último censo realizado en el año 2011 por INE, cada zona cuenta con un número de habitantes que se muestran en la Tabla 6-7.

6.2.3 Cálculo de número mínimo de muestras necesarias

Los datos de caracterizaciones previas con los que se trabajó fueron los facilitados por la Intendencia.

Considerando la materia orgánica, el plástico, y el papel y cartón como los materiales más representativos dentro de la muestra de residuos, se obtienen los datos de la siguiente tabla.

Tabla 6-5. Datos previos de muestreos realizados en el depto. de Canelones.

Material	Ciudad de la Costa 2012 ⁴	Las Piedras 2012 ⁵	Pando 2012 ⁶	Media X	Desviación S
Mat. Orgánico	45,33	47,55	40,44	44,18	7,77
Papel	11,73	12,75	14,87	13,07	4,45
Plástico	30,78	31,14	30,09	30,63	5,63

Con estos datos y mediante el método de cálculo indicado en la ASTM 5231-92 que ya se ha detallado anteriormente, se obtiene el número mínimo de muestras necesarias. Considerando un nivel de confianza del 90% y un error de muestreo o nivel de precisión del 20% ($e=0,2$).

Tabla 6-6. Número mínimo de camiones a partir de los datos previos.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0777	0,2	0,4418	2
2º tanteo	2,92	0,0777	0,2	0,4418	7
3º tanteo	1,8946	0,0777	0,2	0,4418	3
4º tanteo	2,3534	0,0777	0,2	0,4418	4
5º tanteo	2,1318	0,0777	0,2	0,4418	4

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0445	0,2	0,1307	8
2º tanteo	1,8595	0,0445	0,2	0,1307	10
3º tanteo	1,8125	0,0445	0,2	0,1307	10

⁴ ECOTECNO. "Informe anual de composición física y de parámetros fisicoquímicos de residuos sólidos urbanos. Ciudad de la Costa". Octubre 2012. Pág. 9.

⁵ ECOTECNO. "Informe anual de composición física y de parámetros fisicoquímicos de residuos sólidos urbanos. Las Piedras". Octubre 2012. Pág. 9.

⁶ ECOTECNO. "Informe anual de composición física y de parámetros fisicoquímicos de residuos sólidos urbanos. Pando". Octubre 2012. Pág. 9.

Nº muestras Plástico	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0563	0,2	0,3063	2
2º tanteo	2,92	0,0563	0,2	0,3063	7
3º tanteo	1,8946	0,0563	0,2	0,3063	3
4º tanteo	2,3534	0,0563	0,2	0,3063	5
5º tanteo	2,015	0,0563	0,2	0,3063	3

Tras el análisis realizado a partir de la metodología ya expuesta, se llega a la conclusión de que el número mínimo de muestras a tomar son **10 camiones**.

6.2.4 Plan de muestreo

El método de muestreo adoptado es el aleatorio doblemente estratificado según la población existente en cada una de las zonas de recogida de RSU y su nivel socioeconómico. Establecido esto, la elección de los camiones de cada una de las zonas será aleatoria.

Tras la obtención de todos los datos previos, se procede a diseñar el plan de muestreo tomando como referencia el número de muestras mínimas necesarias calculado anteriormente (10 camiones).

Se analiza, como se presenta en la Tabla 6-7 la distribución de la población en cuanto a su Nivel Socioeconómico, cantidades de Residuos Generados y cantidad de habitantes. Con estos parámetros se obtiene una distribución del Número de Camiones que se necesitan muestrear para asegurar la representatividad de la población para cada parámetro. Finalmente contemplando las cantidades de muestras para cada uno de los parámetros tenidos en cuenta se obtiene la distribución de camiones a muestrear que asegura la representatividad.

Aun así, para poder cubrir la variabilidad de poblaciones con sus niveles socioeconómicos, se decide aumentar el muestreo a **14 muestras vehiculares**, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6-7 Distribución de los camiones según la población de cada recorrido.

Micro-Región	Localidad	Nivel SocioEco	RSU 2012		n según RSU M	Población INE 2011		n según pob-M	n según pob-nivel
			Tn/mes	%		(hab)	%		
M1+M7	Estación Transferencia	Medio	3.883	31,56%	4	150.837	33,38%	5	5
M2	San Antonio	Medio	80	0,66%		1.489	0,33%	1	1
	San Bautista	Medio	91	0,75%		1.973	0,44%		
	San Ramón	Medio	192	1,59%		7.133	1,58%		
	Sauce	Medio	333	2,75%		6.132	1,36%		
	Santa Rosa	Medio Bajo	135	1,11%		3.727	0,82%		
M3	Tala	Medio	214	1,76%		5.089	1,13%	0	
	San Jacinto	Medio	150	1,24%		4.510	1,00%		
	Soca	Medio	86	0,71%		1.797	0,40%		
	Migues	Bajo	90	0,74%		2.109	0,47%		
	Montes	Bajo				1.760	0,39%		
	Atlántida	Medio Alto	329	2,71%		8.940	1,98%	1	1
M4	La Floresta	Medio	444	3,66%	1	4.786	1,06%		
	Parque del Plata	Medio	375	3,09%		11.042	2,44%		
	Salinas	Bajo	630	5,19%	1	21.667	4,80%		
M5	Paso Carrasco	Medio Alto	694	5,72%	1	21.318	4,72%	4	3
	Ciudad de la Costa	Medio	1.826	15,03%	2	88.778	19,65%		
	Nicolich	Medio Bajo	315	2,59%		13.931	3,08%		
	Pando	Medio Alto	734	6,04%	1	25.947	5,74%		
M6	Barros Blancos	Medio	712	5,86%	1	31.650	7,00%	3	1
	Empalme Olmos	Medio	152	1,25%		4.199	0,93%		
	Suárez	Medio	363	2,99%		8.083	1,79%		
	Toledo	Bajo	364	3,00%		24.924	5,52%		
			12.143	100%	14	451.821	100%		
Total					14	451.821	100%	14	14

6.3 Trabajo desarrollado

6.3.1 Muestreo

En el SDF de Cañada Grande de Canelones se vierten tanto residuos domiciliarios, como residuos comerciales. Cabe señalar que una parte de los residuos de la construcción y demolición también se consideran RSU. No obstante, su cauce de eliminación a SDF no suele ser a través de los camiones contenedores de recogida municipal. Todas las muestras estudiadas pertenecían a residuos domiciliarios de origen residencial, aunque se detectaron residuos procedentes de pequeños comercios.

La campaña de muestreo se ha realizado la última semana de febrero, ya finalizando el periodo vacacional por verano. Esta circunstancia puede minimizar el efecto del aumento de otro tipo de residuos característicos de la época veraniega, como embalajes, que provoquen una desviación de los resultados respecto a la media real anual.

Se consideró como universo de muestreo al conjunto de rutas de recolección. Se consideró que la unidad muestral primaria, es el camión recolector, el cual tiene asignada una ruta fija de recolección. La selección del camión recolector fue totalmente aleatoria dentro de una zona de recolección elegida. En la Tabla 6-8 se presenta la comparativa entre la planificación realizada y los camiones finalmente muestreados (CG).

Tabla 6-8. Plan de muestreo y muestras realizadas.

Micro-Región	Localidad	Nivel Socio económico	Generación de RSU 2012		Población INE 2011		n según pob. nivel	Muestra
			Tn/ mes	%	(h)	%		
M1+M7	Estación Transferencia	Medio	3.833	31,56%	150.837	33,38%	5	CG3, CG5, CG6, CG13, CG14
M2	San Antonio	Medio	80	0,66%	1.489	0,33%	1	
	San Bautista	Medio	91	0,75%	1.973	0,44%		
	San Ramón	Medio	192	1,59%	7.133	1,58%		
	Sauce	Medio	333	2,75%	6.132	1,36%		CG2
	Santa Rosa	Medio Bajo	135	1,11%	3.727	0,82%		
M3	Tala	Medio	214	1,76%	5.089	1,13%		
	San Jacinto	Medio	150	1,24%	4.510	1,00%		
	Soca	Medio	86	0,71%	1.797	0,40%		
	Migues	Bajo	90	0,74%	2.109	0,47%		
	Montes	Bajo			1.760	0,39%		
M4	Atlántida	Medio Alto	329	2,71%	8.940	1,98%	1	CG4
	La Floresta	Medio	444	3,66%	4.786	1,06%		
	Parque del Plata	Medio	375	3,09%	11.042	2,44%		
	Salinas	Bajo	630	5,19%	21.667	4,80%	1	CG9

Micro-Región	Localidad	Nivel Socio económico	Generación de RSU 2012		Población INE 2011		n según pob. nivel	Muestra
			Tn/ mes	%	(h)	%		
M5	Paso Carrasco	MedioAlto	694	5,72%	21.318	4,72%		
	Ciudad de la Costa	Medio	1.826	15,03%	88.778	19,65%	3	CG10, CG11, CG12
	Nicolich	MedioBajo	315	2,59%	13.931	3,08%		
M6	Pando	MedioAlto	734	6,04%	25.947	5,74%	1	CG1
	Barros Blancos	Medio	712	5,86%	31.650	7,00%	1	CG7
	Empalme Olmos	Medio	152	1,25%	4.199	0,93%		
	Suárez	Medio	363	2,99%	8.083	1,79%		
	Toledo	Bajo	364	3,00%	24.924	5,52%	1	CG8
Total			12.143	100%	451.821	100%	14	14

6.3.2 Corrección por finos

Una vez definida la composición en campo de los residuos sólidos domiciliarios del departamento de Canelones, se procedió a corregir las fracciones finas para repartirlas en las diferentes fracciones en las que se ha considerado clasificar los RSD.

La metodología adoptada en este caso fue asumir que los residuos que pasaron a través de la malla presentan la misma composición porcentual en peso que los residuos de mayor tamaño que fueron segregados. Sin embargo, se hicieron algunas hipótesis básicas tales como no considerar dentro del material fino los residuos correspondientes a algunas fracciones que por su tamaño no pudieron atravesar la malla (p.ej. pañales, botellas de plástico, etc.).

Tabla 6-9. Corrección por finos.

Concepto	CG1			CG2			CG3		
Total finos	15%			10%			15%		
papel y cartón	14,53%	25,61%	3,76%	14,15%	21,71%	2,13%	11,05%	21,31%	3,24%
metales	2,32%	4,09%	0,60%	2,17%	3,33%	0,33%	1,62%	3,12%	0,47%
vidrios	1,67%	2,94%	0,43%	4,11%	6,30%	0,62%	2,24%	4,31%	0,66%
materia orgánica	28,21%	49,73%	7,31%	34,74%	53,32%	5,23%	26,94%	51,97%	7,91%
inertes pétreos	10,00%	17,63%	2,59%	10,00%	15,35%	1,51%	10,00%	19,29%	2,94%
Total	56,73%	100,00%	15%	65,16%	100,00%	10%	51,84%	100,00%	15%

Concepto	CG4			CG5			CG6		
Total finos	12%			18%			21%		
papel y cartón	15,06%	22,94%	2,69%	12,47%	26,50%	4,71%	11,59%	27,69%	5,77%
metales	2,25%	3,43%	0,40%	1,32%	2,80%	0,50%	2,02%	4,83%	1,01%
vidrios	5,37%	8,19%	0,96%	1,27%	2,70%	0,48%	3,71%	8,87%	1,85%
materia orgánica	32,97%	50,21%	5,89%	22,00%	46,75%	8,30%	14,53%	34,72%	7,24%
inertes pétreos	10,00%	15,23%	1,79%	10,00%	21,25%	3,78%	10,00%	23,90%	4,98%
Total	65,65%	100,00%	12%	47,05%	100,00%	18%	41,85%	100,00%	21%

Concepto	CG7			CG8			CG9		
Total finos	23%			20%			12%		
papel y cartón	18,20%	35,50%	8,34%	11,90%	22,34%	4,43%	14,77%	27,54%	3,38%
metales	2,08%	4,06%	0,95%	1,58%	2,97%	0,59%	2,04%	3,80%	0,47%
vidrios	0,99%	1,94%	0,46%	2,44%	4,58%	0,91%	3,24%	6,05%	0,74%
materia orgánica	20,00%	39,01%	9,16%	27,35%	51,34%	10,19%	23,59%	43,97%	5,40%
inertes pétreos	10,00%	19,50%	4,58%	10,00%	18,77%	3,73%	10,00%	18,64%	2,29%
Total	51,28%	100,00%	23%	53,28%	100,00%	20%	53,65%	100,00%	12%

Concepto	CG10			CG11			CG12		
Total finos	21%			15%			16%		
papel y cartón	14,18%	27,94%	5,94%	13,85%	26,05%	3,95%	17,00%	33,40%	5,19%
metales	2,08%	4,09%	0,87%	2,74%	5,15%	0,78%	1,86%	3,65%	0,57%
vidrios	3,13%	6,17%	1,31%	2,62%	4,93%	0,75%	3,07%	6,02%	0,94%
materia orgánica	21,37%	42,10%	8,95%	23,95%	45,06%	6,84%	18,97%	37,27%	5,79%
inertes pétreos	10,00%	19,70%	4,19%	10,00%	18,81%	2,85%	10,00%	19,65%	3,05%
Total	50,76%	100,00%	21%	53,17%	100,00%	15%	50,90%	100,00%	16%

Concepto	CG13			CG14		
Total finos	11%			15%		
papel y cartón	18,34%	28,76%	3,09%	10,30%	20,95%	3,22%
Metales	1,90%	2,99%	0,32%	2,77%	5,63%	0,87%
Vidrios	1,90%	2,99%	0,32%	2,72%	5,53%	0,85%
materia orgánica	31,61%	49,58%	5,34%	23,36%	47,54%	7,31%
inertes pétreos	10,00%	15,68%	1,69%	10,00%	20,35%	3,13%
Total	63,76%	100,00%	11%	49,15%	100,00%	15%

6.3.3 Determinación de la composición física de los RSD

En la siguiente Tabla 6-10 se muestra la Composición Física obtenida para cada una de las muestras caracterizadas.

A su vez, en Tabla 6-11 y en la Figura 6-2 se presentan la composición promedio obtenida de los RSD.

Tabla 6-10. Resultados de la caracterización de las muestras.

Material	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CG12	CG13	CG14
Papel y Cartón	18%	16%	14%	18%	17%	17%	27%	16%	18%	20%	18%	22%	21%	14%
Pañales y apósitos	8%	9%	4%	7%	5%	7%	4%	11%	9%	6%	6%	6%	10%	8%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,4%	1%	0,2%	1%	0,1%	1%	0,2%	1%	1%	0,2%	0,2%	1%	0,4%	1%
Metales	3%	2%	2%	3%	2%	3%	3%	2%	3%	3%	4%	2%	2%	4%
Plásticos Film	15%	12%	13%	14%	14%	13%	14%	12%	15%	13%	15%	12%	16%	13%
Plásticos Botellas	2%	2%	2%	4%	1%	4%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%
Plásticos Otros	2%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	3%	4%	3%	2%	3%	2%	3%
Vidrio	2%	5%	3%	6%	2%	6%	1%	3%	4%	4%	3%	4%	2%	4%
Textiles	6%	3%	8%	1%	8%	4%	2%	5%	6%	2%	2%	1%	2%	3%
Materia Orgánica	36%	40%	35%	39%	30%	22%	29%	38%	29%	30%	31%	25%	37%	31%
Goma, Cuero, Corcho	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	1%	3%	1%	4%	1%	1%	1%
Madera y jardinería	2%	1%	5%	1%	9%	9%	3%	0,3%	1%	5%	2%	13%	0%	8%
Escombros	0%	0%	5%	1%	2%	4%	2%	0,4%	0,2%	4%	5%	1%	0,1%	4%
Materiales Compuestos	1%	1%	1%	1%	1%	0,4%	0,2%	0,2%	1%	1%	1%	1%	2%	1%
Residuos Peligrosos	0%	1%	0,3%	0,3%	0,1%	0,3%	1%	0,2%	0,3%	0,5%	0%	2%	0%	1%
Inertes Pétreos	3%	2%	3%	2%	4%	5%	5%	4%	3%	4%	3%	3%	2%	3%

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

Tabla 6-11. Medias e Intervalos de confianza de los componentes estudiados.

Material	Media	Intervalos de confianza	
Papel y Cartón	18,01%	12%	25%
Pañales y apósitos	7,31%	3%	11%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,50%	0%	1%
Metales	2,72%	2%	4%
Plásticos Film	13,81%	11%	16%
Plásticos Botellas	2,80%	1%	4%
Plásticos Otros	2,79%	2%	4%
Vidrio	3,61%	1%	6%
Textiles	3,88%	0%	8%
Materia Orgánica	32,65%	22%	42%
Goma, Cuero, Corcho	1,56%	0%	4%
Madera y jardinería	3,71%	0%	12%
Escombros	2,10%	0%	6%
Materiales Compuestos	0,79%	0%	2%
Residuos Peligrosos	0,38%	0%	1%
Inertes Pétreos	3,39%	1%	5%

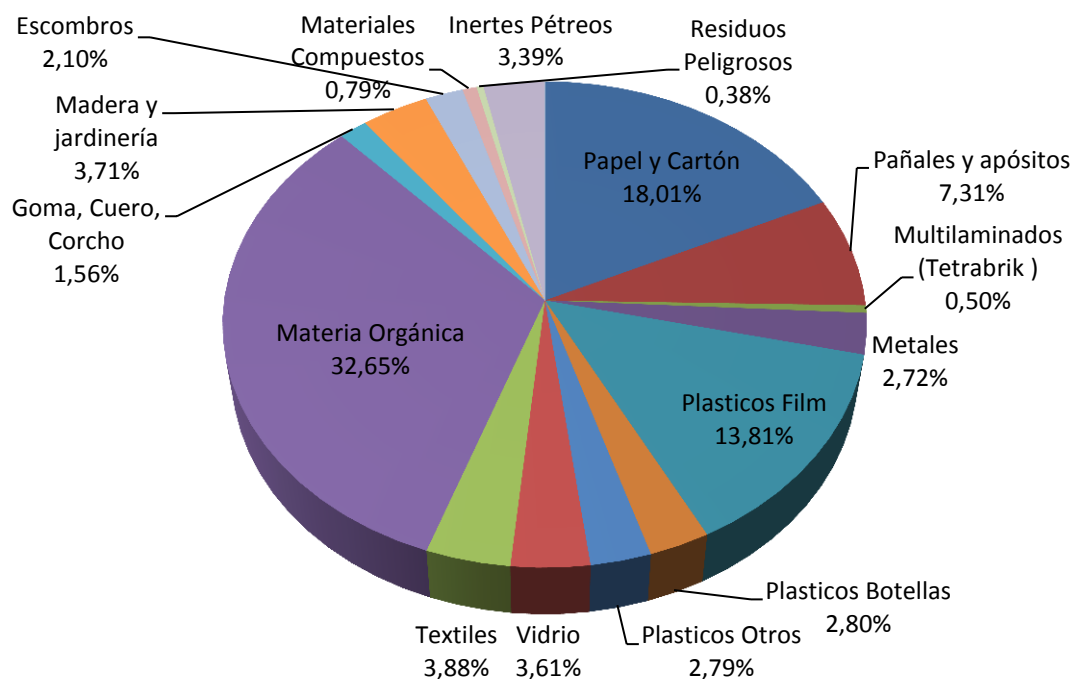


Figura 6-2. Composición física de los RSD de las muestras tomadas.

6.3.4 Determinación de la Densidad Aparente

En campo se determinaron las densidades aparentes de cada una de las unidades muestrales. En la Tabla 6-12 se presentan los resultados de la densidad aparente de cada una de las muestras así como la media de las mismas.

Tabla 6-12. Densidad aparente de las muestras.

Muestra	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CG12	CG13	CG14	Media
Densidad Aparente (kg/m3)	230,8	307,7	265,4	214,6	333,8	243,8	262,3	262,3	186,9	353,8	295,4	242,3	226,2	226,2	260,8

6.3.5 Determinación del Poder Calorífico Teórico

Se realiza la estimación teórica del contenido energético del RSD del departamento de Canelones, obtenido en este estudio, con el fin de compararlo con el PCI obtenido en Montevideo. Para ello en la tabla siguiente se presentan los poderes caloríficos en base seca de las fracciones de residuos de diferentes fuentes consultadas.

Tabla 6-13 Poderes caloríficos en base seca de las distintas fracciones de residuos de las fuentes consultadas.

Material	Porcentaje en peso humedo	Intervalo ⁷ PCI (kJ/kg)	Intervalo ⁷ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁸ (kCal/kg)	PCI medio ⁹ (kCal/kg)
Papel y Cartón	18,01%	11.630 - 18.608	2.780 – 4.448	3.614	3.780
Pañales y apósitos	7,31%	9.811	1.223 – 2.224	1.723	1.223
Multilaminados (Tetrabrik)	0,50%	13.956 - 20.934	3.336 – 5.003	4.170	4.170
Metales	2,72%				
Plásticos Film	13,81%	27.913 – 44.195	6.671 – 10.563	8.617	7.839
Plásticos Botellas	2,80%				
Plásticos Otros	2,79%				
Vidrio	3,61%				
Textiles	3,88%	15.119 – 18.608	3.614 – 4.448	4.031	4.425
Materia Orgánica	32,65%	3.489 – 6.978	834 – 1.668	1.251	999
Goma, Cuero, Corcho	1,56%	15.119 – 19.771	3.614 – 4.725	4.170	5.112
Madera y jardinería	3,71%	2.326 – 18.608	556 – 4.448	2.502	3.691

⁷ Valores de PCI estimados en Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous. Pág. 13-7.

⁸ Valores de PCI correspondientes a la media de los intervalos estimados para las diferentes fracciones en Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous. Pág. 13-7.

⁹ Valores de PCI utilizados en "Estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de capacidad de generación de energía a partir de residuos en Uruguay". Themelis Associates, 2012. Pág.42. Tomados del Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous.

Material	Porcentaje en peso humedo	Intervalo ⁷ PCI (kJ/kg)	Intervalo ⁷ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁸ (kCal/kg)	PCI medio ⁹ (kCal/kg)
Escombros	2,10%				
Materiales Compuestos	0,79%	9.304 – 11.630	2.224 – 2.780	2.502	2.557
Residuos Peligrosos	0,38%				
Inertes pétreos	3,39%				
PCI TOTAL SIN CORREGIR (kCal/kg)			2.408 – 4.016	3.212	3.047
PCI TOTAL SIN CORREGIR (kJ/kg)			10.075 – 16.801	13.438	12.747

Estos valores de los PCI teóricos son considerando Muestra Seca. Por tanto, es necesario corregir este valor restando el calor necesario para evaporar la humedad de la muestra en la combustión. La humedad media de la muestra considerada es la obtenida en laboratorio para la muestra de Montevideo que fue del 42,97 %.

Por tanto, se corrigen estos valores mediante:

$$PCI \text{ muestra} = \left[\sum PCI \text{ fracción} * \text{porcentaje en peso} \right] - 539 * \text{porcentaje humedad}$$

siendo el calor necesario para evaporar la humedad de la muestra en la combustión de 539 kCal/kg.

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6-14. Poder Calorífico Inferior de los RSD de Canelones calculado teóricamente en base a la composición obtenida en campo.

	Intervalo ⁷ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁸ (kCal/kg)	PCI medio ⁹ (kCal/kg)
PCI TOTAL CORREGIDO (kCal/kg)	2.176 – 3.784	2.980	2.815
PCI TOTAL CORREGIDO (kJ/kg)	9.106 – 15.832	12.469	11.778

Se observa que el valor obtenido de PCI teórico oscilaría entre los valores 2.176 kCal/kg y 3.784 kCal/kg.

Cabe señalar, al igual que ocurrió en el caso de Montevideo (Informe 1), que el calculo anterior es una aproximación puesto que realmente el cálculo del PCI de la muestra si contiene humedad debería ser:

$$PCI \text{ muestra} = \left[\sum PCI \text{ fracción} * (\text{porcentaje en peso seco}) \right] - 539 * \text{porcentaje humedad}$$

pero esto obliga a conocer los porcentajes en peso de las fracciones secas. O lo que es lo mismo, conocer los valores medios de humedad de cada una de las fracciones.

A modo de aproximación, y tomando los valores extremos de los intervalos de humedad y los valores extremos de los valores de PCI de cada una de las fracciones que aparecen en el Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous, se obtendría que el poder calorífico oscilaría:

- su valor mínimo oscilaría entre 1.739,52 kCal/kg y 1.960,97 kCal/kg
- su valor máximo oscilaría entre 2.887,58 kCal/kg y 3.344,15 kCal/kg

En el caso de que se tomen los valores extremos de los intervalos de humedad pero fijando los PCI de las fracciones en su valor medio, se obtiene que el poder calorífico teórico de la muestra oscilaría entre 2.314 kCal/kg. y 2.653 kCal/kg.

6.3.6 Validación del número de muestras vehiculares

Con los valores obtenidos de la composición física, se efectúa la validación del número de muestras. Esto es, se debe comprobar si el número de muestras obtenido es suficiente para extrapolar los resultados a la población con un determinado margen de error. Para ello, se vuelve a determinar el número mínimo de muestras necesarias para conseguir la representatividad, pero esta vez utilizando los valores promedio y de desviación típica obtenidos en el muestreo realizado.

Por tanto, aplicando de nuevo la fórmula para la determinación del número de muestras propuesta por la ASTM D5231-92, se obtienen los datos presentados en la Tabla siguiente que confirman la validez de los 10 camiones mínimos a muestrear.

A la hora de realizar dichos cálculos, se ha considerado un error de muestreo del 10%.

Tabla 6-15. Cálculo del número mínimo de muestras tomando los datos obtenidos en el muestreo.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0513	0,1	0,3265	7
2º tanteo	1,8946	0,0513	0,1	0,3265	9
3º tanteo	1,8331	0,0513	0,1	0,3265	8
4º tanteo	1,8595	0,0513	0,1	0,3265	9

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0238	0,1	0,1801	5
2º tanteo	2,015	0,0238	0,1	0,1801	7
3º tanteo	1,8946	0,0238	0,1	0,1801	6
4º tanteo	1,9432	0,0238	0,1	0,1801	7

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0122	0,1	0,1381	2
2º tanteo	2,92	0,0122	0,1	0,1381	7
3º tanteo	1,8946	0,0122	0,1	0,1381	3
4º tanteo	2,3534	0,0122	0,1	0,1381	4

5º tanteo	2,1318	0,0122	0,1	0,1381	4
-----------	--------	--------	-----	--------	---

6.4 Discusión de los resultados

6.4.1 Composición Física de los residuos

Como fuera mencionado anteriormente, la Intendencia de Canelones cuenta con estudios previos de determinación de la composición de sus residuos (Ecotecno, octubre 2012), en la Tabla siguiente se comparan dichos valores con los obtenidos en el muestreo actual.

Como puede observarse en la Tabla la caracterización manejada por la Intendencia divide los residuos en 6 fracciones: Papel y Cartón, Plásticos, Vidrio, Metales, Materia orgánica y Otros. Consultada la Intendencia, se ha intentado unificar las fracciones 16 fracciones del presente informe según las fracciones del muestreo de Canelones 2012 para poder realizar la comparativa.

Tabla 6-16. Comparativa de composición de RSD del muestreo realizado con la composición promedio en las ciudades de Ciudad de la Costa, Las Piedras y Pando.

Material	Muestreo actual 2013		Muestreo Canelones 2012 ¹⁰	
Papel y Cartón	18,01%	18,01%	13,08%	Papel y Cartón
Multilaminados	0,50%	27,21%	29,91%	Plásticos
Plásticos Film	13,81%			
Plásticos Botellas	2,80%			
Plásticos Otros	2,79%			
Pañales y apósitos	7,31%			
Vidrio	3,61%	3,61%	3,30%	Vidrio
Metales	2,72%	2,72%	4,00%	Metales
Materia Orgánica	32,65%	41,80%	45,63%	Materia Orgánica
Goma, Cuero, Corcho	1,56%			
Madera y jardinería	3,71%			
Textiles	3,88%			
Escombros	2,10%	6,66%	4,09%	Otros
Materiales Compuestos	0,79%			
Residuos Peligrosos	0,38%			
Inertes pétreos	3,39%			

Indicar que el muestreo realizado por ECOTECNO incluye la fracción "Pañales y apósitos" en la fracción Plásticos, y a los textiles los incluye en la fracción Materia Orgánica (según información de Intendencia). Por tanto, haciendo la comparativa de esta manera, se obtiene los valores de la Tabla 6-16, que resultan equiparables.

Se comparan los datos promedio obtenidos en Canelones en el presente

¹⁰ ECOTECNO. "Informe anual de composición física y de parámetros fisicoquímicos de residuos sólidos urbanos." Octubre 2012. Promedio de las fracciones de Ciudad de la Costa, Las Piedras y Pando.

muestreo con la composición física de los residuos de varios lugares de América del Sur, en la Tabla 6-17.

Tabla 6-17. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	Canelones Muestreo actual 2013	Fichtner- LKSur 2004 ¹¹	Buenos Aires 2009 ¹²	Santiago Chile 2006 ¹³	Salvador Bahía 2010 ¹⁴
Papel y Cartón	18,01%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	7,31%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados	0,50%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	2,72%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	13,81%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	2,80%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	2,79%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	3,61%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	3,88%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	32,65%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	1,56%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	3,71%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	2,10%		2,20%		
Materiales Compuestos	0,79%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,38%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	3,39%		1,16%		

Como puede observarse los desechos alimenticios, es el mayor componente presente con el 32,65% en peso, que junto con la Madera y jardinería, 3,71%, se obtiene la fracción putrescible total con un 36,36%. Este valor ha resultado muy inferior comparado con los valores de las otras ciudades latinoamericanas.

Los residuos plásticos son el segundo componente más numeroso, con el 19,40%, muy similar al encontrado en la ciudad de Buenos Aires y levemente inferior al porcentaje de Salvador de Bahía. Pese a todo, si lo comparamos con valores de países europeos desarrollados (7% - 10%), es muy elevado básicamente debido al enorme contenido de bolsas de plástico (esta abundancia de bolsas de plástico es generalizado en todas las ciudades muestreadas).

¹¹ FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

¹² Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

¹³ ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

¹⁴ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

El tercer componente en abundancia son los papeles y el cartón con 18,01%, también muy similar a Buenos Aires.

Cabe señalar que en todas las ciudades muestreadas, se ha detectado cantidades relativamente altas de tierras, 3,39%. Además Los residuos presentaban cantidades considerables de hojas de jardinería y pasto.

El porcentaje en pañales y apósitos es del 7,31%, tan abundante como en otras ciudades. Su contenido está muy relacionado con el nivel de natalidad local.

6.4.2 Densidad Aparente

Los valores de densidad son totalmente esperables a lo que correspondería una muestra de RSD sin compactar. Estos oscilan entre 186,90 kg/m³ – 333,80 kg/m³, con un promedio de 261 kg/m³. En el estudio de caracterización de RSD realizado por Intendencia de Canelones (Ecotecn, octubre 2012), se obtiene un valor de 190 kg/m³.

Valores promedio en algunas ciudades son: Buenos Aires 184,51 kg/m³¹⁵, Santiago de Chile 231,20 kg/m³¹⁶, Salvador de Bahía 228,11 kg/m³¹⁷.

6.4.3 Poder Calorífico Teórico

El Poder Calorífico Inferior (PCI) de Canelones se estimó de forma teórica, suponiendo que el valor de humedad era el mismo que el obtenido en laboratorio para Montevideo (42,97%). La comparativa con los valores obtenidos en San José y Montevideo, se muestran en la siguiente Tabla 6-18.

Tabla 6-18. Comparativa del Poder Calorífico Inferior teórico de los RSD de Canelones con el PCI de San José y Montevideo.

PCI (kCal/kg)	SAN JOSE	CANELONES	MONTEVIDEO
PCI Real muestra	No determinado	No determinado	2.180
Intervalo teórico PCI ⁷	2.126 – 3.794	2.176 – 3.784	1.904 – 3.352
PCI medio Teórico ⁸	2.960	2.980	2.628
PCI medio Teórico ⁹	2.770	2.815	2.457
Intervalo teórico PCI (fraccion seca)	2.215 - 2.581	2.314 - 2.653	1.979 – 2.286

De los datos se desprende que el PCI de los RSD que ingresan en el SDF Cañada Grande es similar al PCI de San José y tiene un valor superior al de Montevideo. En el caso de Montevideo se debería principalmente a su menor contenido de materia orgánica y mayor contenido de plásticos. Con respecto a San José los valores son similares pese a que San José presenta un contenido en Materia Orgánica similar a Montevideo. Esto se debería a que la reducción en el valor del PCI provocado por la Materia Orgánica sería contrarrestado por el aumento de PCI que le aportan los textiles y los plásticos.

¹⁵ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

¹⁶ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

¹⁷ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

Si realizamos la comparativa con valores en otros países a modo orientativo tenemos¹⁸: USA (2.220 kCal/kg), Inglaterra (1.950 kCal/kg), Francia (1.560 kCal/kg) y Suecia (2.390 kCal/kg).

¹⁸ HARINDRA, Joseph Fernando. "Handbook of Environmental Control", CRC, 2012.

7 SDF LA PEDRERA, MELO

7.1 Área de Estudio

7.1.1 Gestión de residuos en Melo

La Intendencia de Melo gestiona los residuos domiciliarios, de limpieza y mantenimiento viario, comerciales, agrícolas e industriales de la ciudad y sus barrios periféricos. Los residuos de jardinería, escombros y voluminosos se retiran de la calle y son depositados en el SDF de la Pedrera.

Indicar que la Intendencia sólo se encarga de la gestión de residuos de su ciudad, de forma que, el resto de municipios del departamento se encargan de su propia gestión de residuos.

En la ciudad de Melo, la recolección de RSU se organiza en 6 zonas que derivan directamente al Sitio de Disposición Final de la ciudad llamado La Pedrera. La recolección en el centro y en el sur de la ciudad (zonas A y B), la realiza una empresa tercerizada en turno de noche mediante contenedores. Las zonas C1, C2, y C3 también están provistas de contenedores, pero la recolección corresponde a personal de la Intendencia, realizando el trabajo en turno matutino. La recogida de la zona D también compete a la Intendencia, pero en este caso se hace de manera manual.

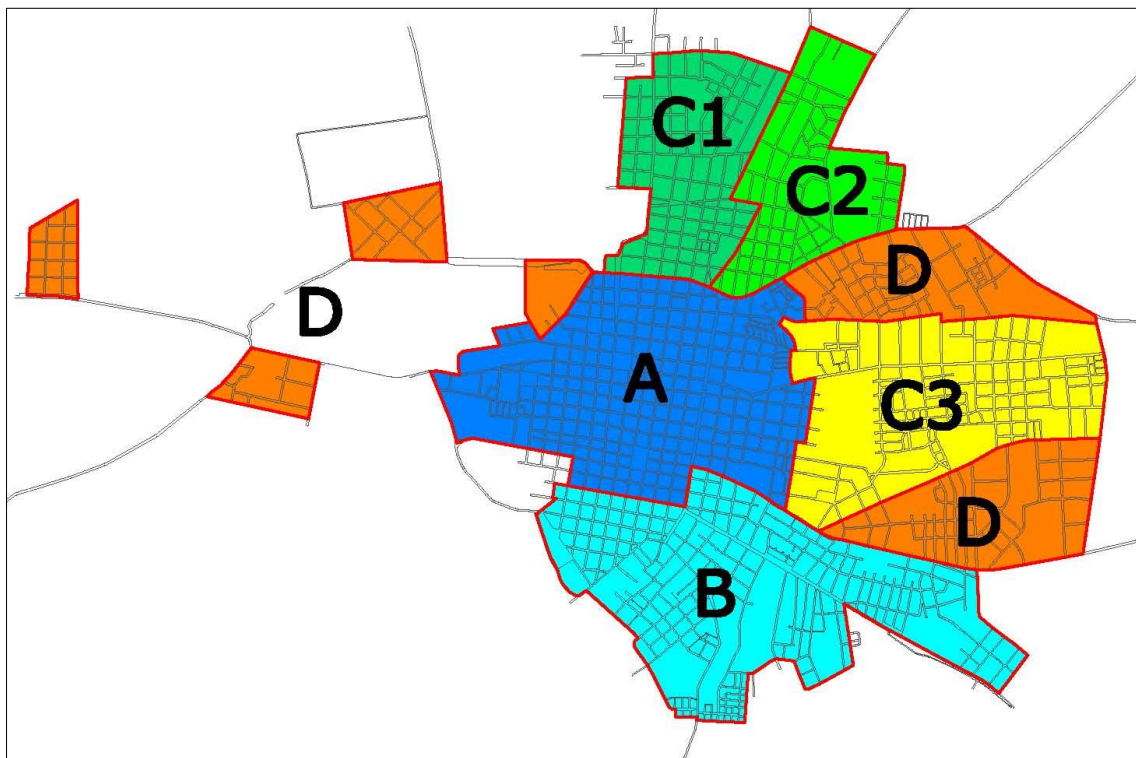


Figura 7-1 Zonas de recogida de la ciudad de Melo.

Tabla 7-1. Días y turnos de los recorridos de recolección.

Zona	Id	Días recogida	Horario
Zona A Centro		D, L, M, X, J, V	00:00 a 8:00
Zona B Centro			
Zona C1			7:00 a 14:00
Zona C2			
Zona C3			
Zona D			8:00 a 15:00

Según la información facilitada por la Intendencia de Melo, la recolección de los residuos se realiza siguiendo los recorridos marcados en el plano superior, los cuales se centran en recoger exclusivamente los residuos domiciliarios (RSD).

Los residuos de jardinería y los escombros se recogen con camiones de caja abierta, y no quedan reflejados en los recorridos arriba marcados.

El servicio de recolección de la ciudad de Melo cuenta con circuitos limpios para la recogida de residuos específicos de comercios e industria.

7.1.2 Sitio de Disposición Final (SDF)

La ciudad de Melo cuenta con un único Sitio de Disposición Final (SDF), donde se realizó el presente estudio de caracterización, situado en el kilómetro 450 de la ruta N°26, lindando con el Cerro de La Pedrera, como se presenta en la Figura 7-2

El vertedero no dispone de balanza para el pesado de los camiones que ingresan. Pero además, la Intendencia tampoco ha realizado ninguna campaña de pesado de los camiones, para conocer de una manera mas precisa las toneladas de residuos que ingresan en el SDF.

En el SDF de Melo, trabajan clasificadores pero no se encuentran organizados en cooperativas.

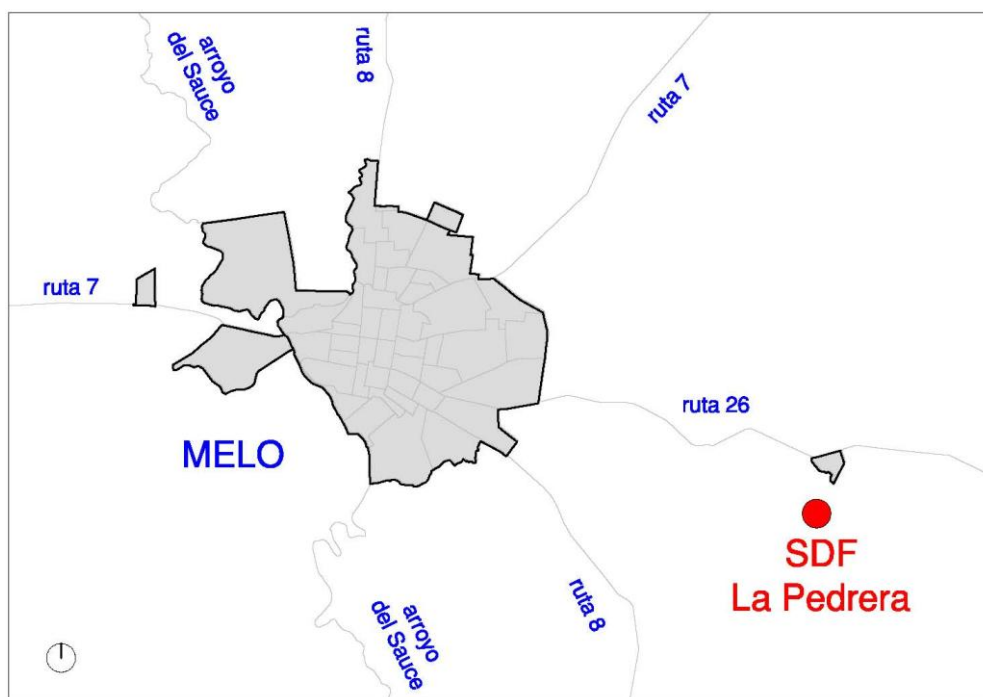


Figura 7-2. Ubicación del SDF de Salto.

7.2 Diseño del plan de muestreo

Se ha seguido el procedimiento basado en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

7.2.1 Datos previos de caracterización de los RSU

En este caso, no existen datos para la pre-caracterización de los RSU. Consecuentemente, se ha decidido tomar como referencia el plan de muestreo de Salto. Como antecedente bibliográfico se ha consultado Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomo I y Tomo II (CSI Ingenieros, 2011).

7.2.2 Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos

Para diseñar un plan de muestreo aleatorio doblemente estratificado, además de tener en cuenta los datos poblacionales en estas zonas de recogida (Figura 7-1 y Tabla 7-1), debemos conocer sus correspondientes niveles socioeconómicos.

Para ello, se ha consultado el estudio del CEISMU sobre el Índice de Nivel Socioeconómico en el 2012, pero únicamente menciona los porcentajes de dichos niveles para el conjunto del departamento de Cerro Largo (ver Tabla 7-2) sin situarlos geográficamente¹⁹. Tampoco muestra información sobre los niveles socioeconómicos en la ciudad, que es de donde proceden los RSD que ingresan en el SDF. Es por ello que la información del CEISMU no será de utilidad, debido a que no será posible seleccionar los recorridos de recogida de RSD correspondientes a dichos niveles, para poder representarlos en el plan de muestreo.

¹⁹ CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)". 2012. Pág. 7.

Tabla 7-2. Porcentajes de población en todo el Departamento de Cerro Largo según su nivel socioeconómico (CEISMU, 2012).

Nivel Socioeconómico	%
Bajo-, Bajo+	53 %
Medio-, Medio, Medio+	42 %
Alto-, Alto+	5 %

Dado que no se pudieron conseguir datos sobre la distribución de los niveles socioeconómicos de la ciudad por otras fuentes bibliográficas, se recurrió al personal de la Intendencia. El Sr. José Yurramendi, Director de Servicios, informó de los niveles que, se detectaban en las diferentes zonas de recogida. Esta información queda resumida en la siguiente Tabla 7-3. Con esta información, pudieron escogerse de manera aleatoria los camiones provenientes de las diferentes zonas socioeconómicas, para así poder reflejar el tipo de residuos generado por los diferentes estratos socioeconómicos de Melo.

Tabla 7-3. Niveles socioeconómicos detectados en las diferentes zonas de recogida de RSD en la ciudad de Melo.

Zona	Barrio	Nivel socioeconómico
ZONA A	Souza	Medio Bajo
	Caltieri	Medio
	Serrato	Medio
	Santa Cruz	Medio
	Tiririca	Medio
	Estero Bellaco	Medio Alto
	Jardines del ferrocarril	Alto
	Centro	Alto
ZONA B	Popular	Bajo
	Las acacias	Bajo
	Falcon	Bajo
	Mendoza	Bajo
	Bella Vista	Medio Bajo
	Collazo	Medio Bajo
	San Martin	Medio Bajo
	Nuevo Collazo	Medio Bajo
	Garcia sur	Medio Bajo
	El fogon	Medio Bajo
	La bolsa	Medio Bajo
	La salud	Medio Bajo
	La Serna	Medio
	Paggiola	Medio
	La flor de la canela	Medio
	Modelo	Medio
	Cuchilla de las flores	Medio
	Centenario	Medio
ZONA C1	Castro	Medio Bajo
	Garcia	Medio Bajo

Zona	Barrio	Nivel socioeconómico
	Cencelli	Medio Bajo
	Leone	Medio
	Lopez	Medio
	Progreso	Medio
	Castagnet	Medio
ZONA C2	Vinchuca	Bajo
	Ruiz	Medio Bajo
	Prieto o Navarrete	Medio Bajo
	Arpi	Medio
ZONA C3	Aguas Hermosas	Bajo
	Feder	Medio Bajo
	Murguia	Medio Bajo
	Leandro Gomez	Medio Bajo
	Los vascos	Medio Bajo
	La palma	Medio Bajo
	Chacras del Caltieri	Medio
ZONA D	Bella Vista 1	Bajo
	Rufino Perez	Bajo
	El trampolin	Bajo
	San antonio	Bajo
	Lopez Benitez	Medio Bajo
	Hipodromo	Medio Bajo
	Soñora	Medio Bajo
	Chacras de paggiola	Medio Bajo
	Anido	Medio

7.2.3 Datos poblacionales

Para determinar el peso específico de cada recorrido dentro del conjunto, es necesario conocer cuál es la población correspondiente a cada uno de ellos. Según los datos del último censo realizado en el año 2011 por el INE, cada zona cuenta con un número de habitantes que se muestran en la Tabla 7-5.

7.2.4 Cálculo de número mínimo de muestras necesarias

No se disponen de datos previos de muestreos de caracterización de RSD en Melo. Por tanto, no se dispone de datos previos que puedan tomarse como referencia para realizar una primera estimación del número de muestras a estudiar.

A la hora de diseñar el plan de muestreo, se ha considerado tomar a Salto como ciudad de referencia por la semejanza de sus actividades y la influencia de una ubicación fronteriza.

Tabla 7-4. Número mínimo de muestras necesarias en Melo, tomando como referencia los datos obtenidos en la campaña de muestreo de Salto.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0402	0,1	0,4294	2
2º tanteo	2,92	0,0402	0,1	0,4294	7
3º tanteo	1,8946	0,0402	0,1	0,4294	3
4º tanteo	2,3534	0,0402	0,1	0,4294	5
5º tanteo	2,015	0,0402	0,1	0,4294	4
6º tanteo	2,1318	0,0402	0,1	0,4294	4

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,048	0,2	0,1327	9
2º tanteo	1,8331	0,048	0,2	0,1325	11
3º tanteo	1,7959	0,048	0,2	0,1325	11

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0137	0,1	0,114	4
2º tanteo	2,1318	0,0137	0,1	0,114	7
3º tanteo	1,8946	0,0137	0,1	0,114	5
4º tanteo	2,015	0,0137	0,1	0,114	6
5º tanteo	1,9432	0,0137	0,1	0,114	5

Los datos obtenidos de la validación de muestras en Salto, indican que son 11 las muestras mínimas, por lo que será esta cantidad la que se tome como referencia para diseñar el plan de muestreo de Melo.

7.2.5 Plan de muestreo

El método de muestreo adoptado es el aleatorio doblemente estratificado según la población y el nivel socioeconómico existente en cada una de las zonas de recogida de RSU. Establecido esto, la elección de los camiones de cada una de las zonas será aleatoria.

Hay que señalar que se ha asignado a cada recorrido de recolección un nivel socioeconómico resultante, según el peso poblacional que tienen los barrios en dicha zona o recorrido. Esta consideración se ha realizado debido a que dentro de cada recorrido de recogida, no era posible escoger de manera aislada los residuos generados por un barrio con un determinado nivel socioeconómico, resultando el plan de muestreo presentado en la Tabla siguiente.

Tabla 7-5. Distribución de las muestras vehiculares según la población y nivel socioeconómico de cada recorrido.

Zona	Barrio	Nivel socio econ.	Pob. INE 2011	Pob/ nivel	%	n	n/ zona	Nivel asig.	n asig.
ZONA A	Souza	MB	2467	2467	4,78%	0,53		MA	3
	Caltieri	M	812	3053	5,91%	0,65	1		
	Serrato	M	1118						
	Santa Cruz	M	772						
	Tiririca	M	351						
	Estero Bellaco	MA	2218	2218	4,30%	0,47			
	Jardines del ferrocarril	A	125	7145	13,84%	1,52	2		
	Centro	A	7020						
ZONA B	Popular	B	283	1969	3,81%	0,42		MB	3
	Las acacias	B	770						
	Falcon	B	197						
	Mendoza	B	719						
	Bella Vista	MB	499	5629	10,90%	1,20	2		
	Collazo	MB	1232						
	San Martin	MB	1617						
	Nuevo collazo	MB	285						
	Garcia sur	MB	295						
	El fogon	MB	437						
	La bolsa	MB	532						
	La salud	MB	732						
	La Serna	M	314	6063	11,74%	1,29	1		
	Paggiola	M	383						
	La flor de la canela	M	523						
	Modelo	M	763						
	Cuchilla de las flores	M	3094						
	Centenario	M	986						
ZONA C1	Castro	MB	218	1199	2,32%	0,26		M	2
	Garcia	MB	766						
	Cencelli	MB	215						
	Leone	M	2364	5513	10,68%	1,17	2		
	Lopez	M	1223						
	Progreso	M	599						
	Castagnet	M	1327						
ZONA C2	Vinchuca	B	388	388	0,75%	0,08		MB	1
	Ruiz	MB	1508	2115	4,10%	0,45	1		

Zona	Barrio	Nivel socio econ.	Pob. INE 2011	Pob/ nivel	%	n	n/ zona	Nivel asig.	n asig.
	Prieto o Navarrete	MB	607						
	Arpi	M	2218	2218	4,30%	0,47			
ZONA C3	Aguas Hermosas	B	793	793	1,54%	0,17		MB	1
	Feder	MB	805	4097	7,94%	0,87	1		
	Murguia	MB	1519						
	Leandro Gomez	MB	639						
	Los vascos	MB	933						
	La palma	MB	201						
	Chacras del Caltieri	M	676	676	1,31%	0,14			
ZONA D	Bella Vista 1	B	473	1823	3,53%	0,39	1	B	1
	Rufino Perez	B	408						
	El trampolin	B	910						
	San antonio	B	32						
	Lopez benitez	MB	522	2900	5,62%	0,62			
	Hipodromo	MB	505						
	Soñora	MB	1081						
	Chacras de paggiola	MB	792						
	Anido	M	1363	1363	2,64%	0,29			
Total			51629			11	11		11

7.3 Trabajo desarrollado

7.3.1 Muestreo

Como universo de muestreo se consideró el conjunto de rutas de recolección, siendo la unidad muestral primaria, el camión recolector, el cual tiene asignada una ruta fija de recolección. La selección del camión recolector fue totalmente aleatoria dentro de una zona de recolección elegida.

En el SDF de Melo se vierten tanto residuos domiciliarios, como residuos comerciales. Comentar que una parte de los residuos de la construcción y demolición también se consideran RSU. No obstante, su cauce de eliminación a SDF no suele ser a través de los camiones contenedores de recogida municipal. Todas las muestras estudiadas pertenecían a residuos domiciliarios de origen residencial, aunque se detectaron residuos procedentes de pequeños comercios.

El muestreo de la ciudad de Melo, se realizó durante la segunda semana de marzo. El área seleccionada para realizar la caracterización de las muestras, se encontraba junto a las instalaciones de control del mismo. La constante vigilancia del área por parte del personal del vertedero y el control sobre los clasificadores

informales, posibilitó descargar los camiones nocturnos sobre una lona colocada el día anterior para ser muestreados a la mañana siguiente. Tal y como se ve en la Figura 7-2, estas muestras se cubrían con otra lona para que durante la noche no se dispersase el material de las mismas, ni fueran abordadas por animales.

En la Tabla 7-6 se presenta la comparación entre el muestreo planificado y las muestras finalmente obtenidas en campo.



Figura 7-3. Muestras cubiertas con lona descargadas durante la noche

Tabla 7-6. Plan de muestreo y muestras tomadas.

Zona	Barrio	Nivel socio econ.	% Pobl	n/ zona	Nivel asig.	n asig.	Muestra
ZONA A	Souza	MB	4,78%		MA	3	M1, M6, M8
	Caltieri	M	5,91%	1			
	Serrato	M					
	Santa Cruz	M					
	Tiririca	M					
	Estero Bellaco	MA	4,30%				
	Jardines del ferrocarril	A	13,84%	2			
	Centro	A					
ZONA B	Popular	B	3,81%		MB	3	M2, M5, M9
	Las acacias	B					
	Falcon	B					
	Mendoza	B					
	Bella Vista	MB	10,90%	2			
	Collazo	MB					
	San Martin	MB					
	Nuevo Collazo	MB					
	Garcia sur	MB					
	El fogon	MB					
	La bolsa	MB					
	La salud	MB					
	La Serna	M	11,74%	1			
	Paggiola	M					
	La flor de la canela	M					

Zona	Barrio	Nivel socio econ.	% Pobl	n/ zona	Nivel asig.	n asig.	Muestra
	Modelo	M					
	Cuchilla de las flores	M					
	Centenario	M					
ZONA C1	Castro	MB	2,32%		M	2	M3, M11
	Garcia	MB					
	Cencelli	MB					
	Leone	M	10,68%	2			
	Lopez	M					
	Progreso	M					
	Castagnet	M					
ZONA C2	Vinchuca	B	0,75%		MB	1	M7
	Ruiz	MB	4,10%	1			
	Prieto o Navarrete	MB					
	Arpi	M	4,30%				
ZONA C3	Aguas Hermosas	B	1,54%		MB	1	M10
	Feder	MB	7,94%	1			
	Murguia	MB					
	Leandro Gomez	MB					
	Los vascos	MB					
	La palma	MB					
	Chacras del Caltieri	M	1,31%				
ZONA D	Bella Vista 1	B	3,53%	1	B	1	M4
	Rufino Perez	B					
	El trampolin	B					
	San antonio	B					
	Lopez Benitez	MB	5,62%				
	Hipodromo	MB					
	Soñora	MB					
	Chacras de paggiola	MB					
	Anido	M	2,64%				
Total				11		11	11

7.3.2 Corrección por finos

Una vez definida la composición de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Melo, se procedió a corregir las fracciones finas para repartirlas en las diferentes fracciones en las que se ha considerado clasificar los RSD.

La metodología adoptada en este caso fue asumir que los residuos que pasaron a través de la malla presentan la misma composición porcentual en peso que los residuos de mayor tamaño que fueron segregados. Sin embargo, se hicieron algunas hipótesis básicas tales como no considerar dentro del material fino los residuos correspondientes a algunas fracciones que por su tamaño no pudieron atravesar la malla (p.ej. pañales, botellas de plástico, etc.).

Tabla 7-7. Corrección por finos.

Concepto	M1			M2			M3		
Total finos	24%			19%			23%		
papel y cartón	8,25%	13,20%	3,22%	8,98%	14,10%	2,74%	11,97%	20,69%	4,67%
metales	1,99%	3,19%	0,78%	3,01%	4,73%	0,92%	1,23%	2,12%	0,48%
vidrios	4,07%	6,51%	1,59%	3,56%	5,60%	1,09%	2,61%	4,51%	1,02%
materia orgánica	38,15%	61,09%	14,88%	38,11%	59,86%	11,65%	32,04%	55,39%	12,49%
inertes pétreos	10,00%	16,01%	3,90%	10,00%	15,71%	3,06%	10,00%	17,29%	3,90%
Total	62,46%	100%	24%	63,66%	100%	19%	57,85%	100%	23%

Concepto	M4			M5			M6		
Total finos	24%			25%			21%		
papel y cartón	6,63%	12,46%	2,95%	14,24%	26,83%	6,77%	6,63%	12,46%	2,95%
metales	2,63%	4,94%	1,17%	1,84%	3,46%	0,87%	2,63%	4,94%	1,17%
vidrios	3,52%	6,62%	1,56%	2,69%	5,06%	1,28%	3,52%	6,62%	1,56%
materia orgánica	30,41%	57,18%	13,51%	24,31%	45,81%	11,55%	30,41%	57,18%	13,51%
inertes pétreos	10,00%	18,80%	4,44%	10,00%	18,84%	4,75%	10,00%	18,80%	4,44%
Total	53,18%	100%	24%	53,08%	100%	25%	53,18%	100%	24%

Concepto	M7			M8			M9		
Total finos	17%			20%			21%		
papel y cartón	8,37%	15,61%	2,64%	12,28%	20,81%	4,11%	11,02%	21,98%	4,62%
metales	2,61%	4,88%	0,82%	1,92%	3,25%	0,64%	2,45%	4,88%	1,03%
vidrios	1,24%	2,32%	0,39%	2,96%	5,02%	0,99%	2,73%	5,45%	1,15%
materia orgánica	31,36%	58,52%	9,90%	31,86%	53,97%	10,65%	23,92%	47,73%	10,03%
inertes pétreos	10,00%	18,66%	3,16%	10,00%	16,94%	3,34%	10,00%	19,95%	4,19%
Total	53,58%	100%	17%	59,02%	100%	20%	50,12%	100%	21%

Concepto	M10			M11		
Total finos	23%			20%		
papel y cartón	10,19%	18,01%	4,21%	6,50%	12,30%	2,44%
metales	2,67%	4,72%	1,10%	2,00%	3,79%	0,75%
vidrios	1,94%	3,43%	0,80%	1,93%	3,64%	0,72%
materia orgánica	31,80%	56,17%	13,13%	32,42%	61,34%	12,18%
inertes pétreos	10,00%	17,67%	4,13%	10,00%	18,92%	3,76%
Total	56,60%	100%	23%	52,85%	100%	20%

7.3.3 Determinación de la composición física de los RSD

En la Tabla 7-8 se muestra la Composición Física obtenida para cada una de las muestras caracterizadas.

A su vez, en la Tabla 9-10 y en la Figura 7-4 Composición física de los RSD de las muestras tomadas. Figura 7-4 se presentan la composición promedio obtenida de los RSD.

Tabla 7-8. Resultados de la caracterización de las muestras.

Material	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Papel y Cartón	11%	12%	17%	10%	21%	17%	11%	16%	16%	14%	9%
Pañales y apósitos	3%	5%	8%	5%	5%	6%	5%	6%	6%	8%	11%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,4%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0,3%	1%	0,3%
Metales	3%	4%	2%	4%	3%	3%	3%	3%	3%	4%	3%
Plásticos Film	8%	8%	7%	9%	7%	8%	8%	6%	4%	7%	8%
Plásticos Botellas	2%	1%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	2%
Plásticos Otros	3%	3%	3%	4%	3%	4%	3%	4%	5%	4%	4%
Vidrio	6%	5%	4%	5%	4%	3%	2%	4%	4%	3%	3%
Textiles	2%	3%	3%	4%	3%	3%	9%	1%	10%	3%	6%
Materia Orgánica	53%	50%	45%	44%	36%	42%	41%	43%	34%	45%	45%
Goma, Cuero, Corcho	0,4%	2%	2%	2%	3%	1%	4%	1%	1%	2%	2%
Madera y jardinería	1%	1%	1%	2%	4%	2%	3%	8%	2%	1%	4%
Escombros	3%	2%	2%	1%	3%	5%	3%	3%	7%	1%	1%
Materiales Compuestos	0,3%	0,4%	0,2%	2%	0,3%	0,2%	1%	0,3%	1%	1%	0,2%
Residuos Peligrosos	0,1%	0,3%	0,5%	1%	0,5%	0,2%	0,3%	1%	1%	1%	0,2%
Inertes Pétreos	5%	4%	4%	5%	5%	4%	3%	4%	4%	4%	4%

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

Tabla 7-9. Medias y desviaciones estándar de los componentes estudiados.

Material	Media	Intervalo de confianza	
Papel y Cartón	14,18%	7%	21%
Pañales y apósitos	5,71%	2%	10%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,85%	0%	2%
Metales	3,07%	2%	4%
Plásticos Film	7,71%	5%	10%
Plásticos Botellas	1,67%	1%	2%
Plásticos Otros	3,55%	2%	5%
Vidrio	3,74%	1%	6%
Textiles	4,24%	0%	10%
Materia Orgánica	43,81%	33%	54%
Goma, Cuero, Corcho	1,75%	0%	4%

Material	Media	Intervalo de confianza	
Madera y jardinería	2,06%	0%	6%
Escombros	2,41%	0%	6%
Materiales Compuestos	0,44%	0%	1%
Residuos Peligrosos	0,50%	0%	1%
Inertes Pétreos	4,31%	3%	5%

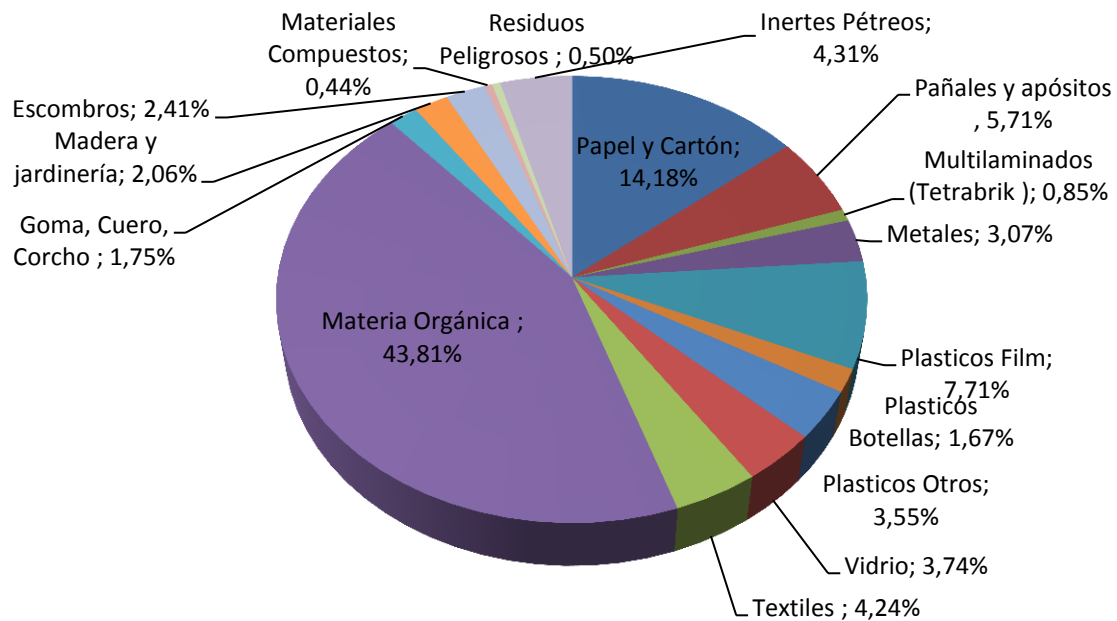


Figura 7-4 Composición física de los RSD de las muestras tomadas.

7.3.4 Determinación de la Densidad Aparente

En campo se determinaron las densidades aparentes de cada una de las unidades muestrales, en la Tabla 9-11 se presentan los resultados de la densidad aparente de cada una de las muestras así como la media de las mismas.

Tabla 7-10. Densidad aparente de las muestras.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	Media
Densidad aparente (kg/m3)	337,7	243,8	246,1	140,0	253,8	258,5	186,1	113,8	253,8	180,0	250,8	224,1

7.3.5 Validación del número de muestras vehiculares

Con los valores obtenidos de la composición física, se efectúa la validación del número de muestras. Esto es, se debe de comprobar si el número de muestras obtenido es suficiente para extrapolar los resultados a la población con un determinado margen de error. Para ello, se vuelve a determinar el número mínimo de muestras necesarias para conseguir la representatividad, pero esta vez utilizando los valores promedio y de desviación típica obtenidos en nuestro muestreo.

Por tanto, aplicando de nuevo la fórmula para la determinación de número de muestras propuesta por la ASTM D5231-92, se obtienen los siguientes datos que confirman los 11 camiones muestreados.

Tabla 7-11. Cálculo del número mínimo de muestras tomando los datos obtenidos en el muestreo.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0515	0,1	0,4381	4
2º tanteo	2,1318	0,0515	0,1	0,4381	6
3º tanteo	1,9432	0,0515	0,1	0,4381	5
4º tanteo	2,015	0,0515	0,1	0,4381	6

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0359	0,2	0,1418	4
2º tanteo	2,1318	0,0359	0,2	0,1418	7
3º tanteo	1,8946	0,0359	0,2	0,1418	6
4º tanteo	1,9432	0,0359	0,2	0,1418	6

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0116	0,1	0,0771	6
2º tanteo	1,9432	0,0116	0,1	0,0771	9
3º tanteo	1,8331	0,0116	0,1	0,0771	8
4º tanteo	1,8595	0,0116	0,1	0,0771	8

Se observa que la validación del método da un número de muestras inferior al número de muestras realizado (11). En este caso, el método se ha validado con un error de muestreo o precisión (e) del 10% para las fracciones de la materia orgánica y del plástico film, y del 20% para la del papel y el cartón.

7.4 Discusión de los resultados

7.4.1 Composición Física de los residuos

Si se comparan los datos promedio de Melo con la Composición Física de los RSU en varios lugares de América del Sur, obtenemos:

Tabla 7-12. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	Melo Muestreo 2013	Fichtner- LKSur 2004 ²⁰	Buenos Aires 2009 ²¹	Santiago Chile 2006 ²²	Salvador Bahía 2010 ²³
Papel y Cartón	14,18%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	5,71%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados	0,85%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	3,07%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	7,71%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	1,67%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	3,55%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	3,74%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	4,24%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	43,81%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	1,75%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	2,06%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	2,41%		2,20%		
Materiales Compuestos	0,44%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,50%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	4,31%		1,16%		

Los desechos alimenticios es el primer componente con el 43,81% en peso, que junto con la Madera y jardinería (2,06%), se obtiene la fracción putrescible total con un 45,87%.

El segundo componente en abundancia son el papel y cartón (14,18%).

Los residuos plásticos son el tercer componente más numeroso, con el 12,93%. Su porcentaje es bastante inferior al de las ciudades muestreadas en los diferentes departamentos del Uruguay, pero se encuentra dentro del intervalo en el

²⁰ FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

²¹ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

²² ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

²³ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

que oscilan los valores en otras ciudades de latino América. Pese a todo, si se sigue siendo elevado si se compara con los valores de países europeos desarrollados (7% - 10%), debido al alto contenido en bolsas de plástico.

Comentar que en todos los casos, se ha detectado cantidades relativamente altas de tierras; 4,31%. Los residuos muestreados presentaban también cantidades considerables de hojas de jardinería y pasto.

El porcentaje en pañales y apósitos es del 5,71%, tan abundante como en otras ciudades. Su contenido está muy relacionado con el nivel de natalidad de la zona estudiada.

7.4.2 Densidad Aparente

Los valores de densidad son totalmente esperables a lo que correspondería una muestra de RSD sin compactar. Estos oscilan entre 113,80 kg/m³ - 337,70 kg/m³, con un promedio de 224 kg/m³.

Valores promedio en algunas ciudades son: Buenos Aires 184,51 kg/m³²⁴, Santiago de Chile 231,20 kg/m³²⁵, Salvador de Bahía 228,11 kg/m³²⁶.

²⁴ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

²⁵ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

²⁶ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

8 SDF PAYSANDÚ, PAYSANDÚ

8.1 Área de Estudio

8.1.1 Gestión de residuos en Paysandú

La Intendencia de Paysandú gestiona los residuos domiciliarios, de limpieza y mantenimiento viario, comerciales, agrícolas e industriales de la ciudad. Los residuos de jardinería, escombros y voluminosos se retiran de la calle previa llamada a la intendencia, que los deposita en el SDF de Paysandú.

Decir que la Intendencia solo se encarga de la gestión de residuos de la ciudad, de forma que, el resto de municipios del departamento se encargan de su propia gestión de residuos.

En la ciudad de Paysandú la recolección de RSU se organiza en 9 zonas o Circuitos, presentadas en la Figura 8-1, cuyos residuos son destinados directamente al Sitio de Disposición Final de Paysandú.

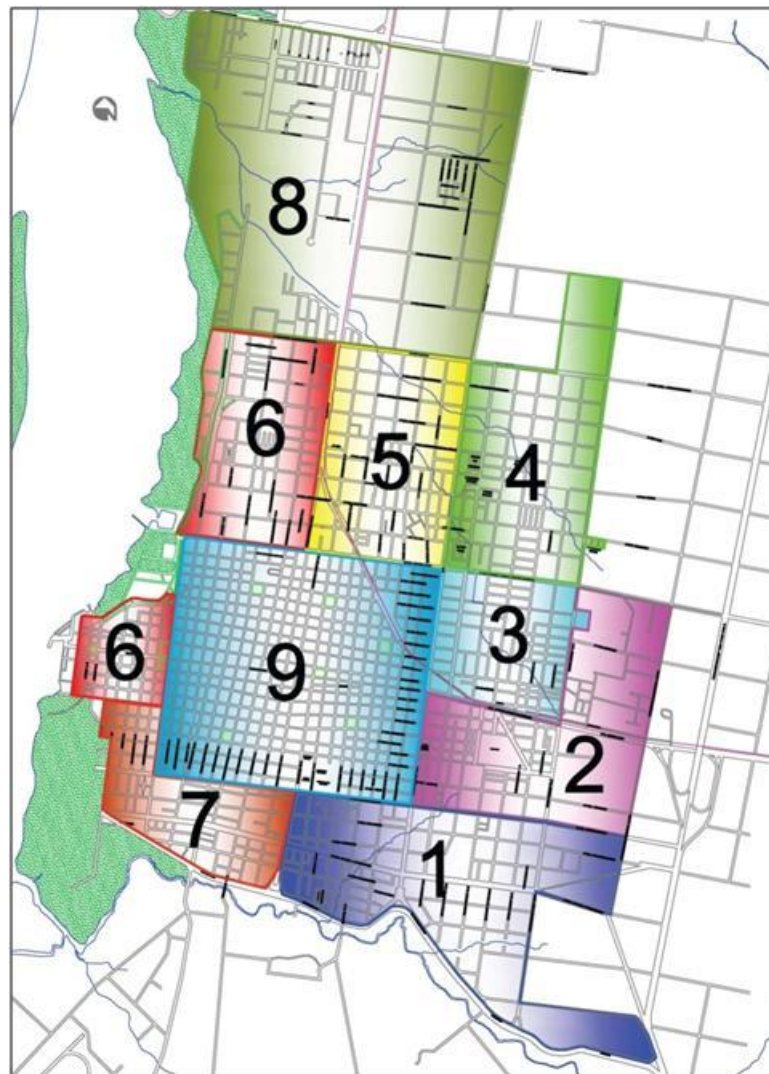


Figura 8-1. Zonas de recogida de la ciudad de Paysandú

Tabla 8-1. Días y turnos de los recorridos de recolección.

Zona	Dias Recogida	Horario
Circuito 1	L, X, V	6:00 a 12:00
Circuito 2		
Circuito 3	M, J, S	
Circuito 4		
Circuito 5	L, X, V	
Circuito 6		
Circuito 7	M, J, S	
Circuito 8		
Circuito 9. Centro	L, M, X, J, V, D	22:00 a 4:00

Según la información facilitada por la Intendencia de Paysandú, la recolección de los residuos se realiza siguiendo los recorridos marcados en el plano superior. Todos ellos se centran en recoger exclusivamente los residuos domiciliarios (RSD).

El circuito 8 se encuentra sin censar, y la intendencia únicamente podía asegurar que era un área de básicamente de chacras poco poblada, sin especificar el número de habitantes. Finalmente, por su baja incidencia se decidió no tenerla en cuenta en el muestreo.

Los residuos de jardinería y los escombros se recogen con camiones de caja abierta, lo cuales no quedan contemplados en los recorridos arriba marcados.

Existe un circuito limpio para la recogida de residuos específicos de comercios e industria.

8.1.2 Sitio de Disposición Final (SDF)

Este estudio de caracterización se realizó en el único Sitio de Disposición Final (SDF) de la ciudad, situado en el camino a Casablanca, a 8 km de la ciudad de Paysandú y a 2,5 km de Casablanca.

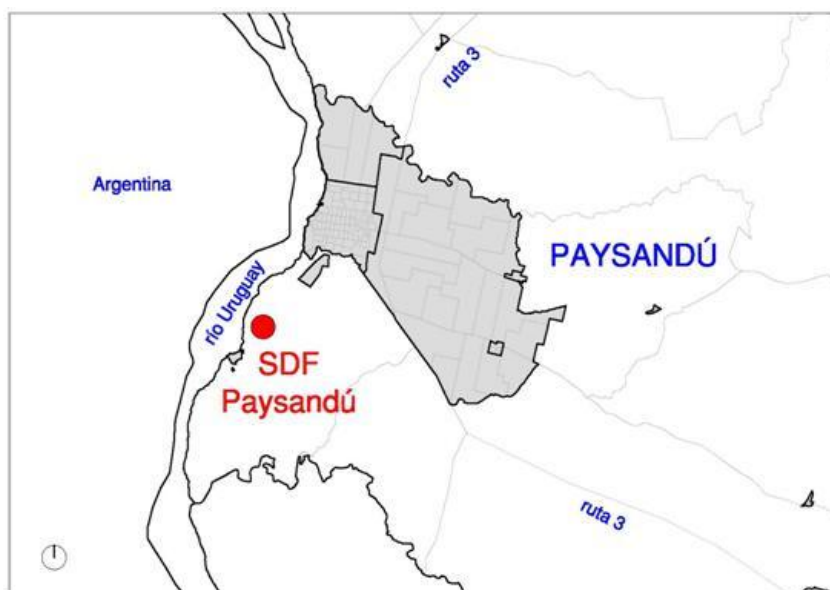


Figura 8-2 Ubicación del SDF de Paysandú.

El sitio no dispone de balanza para el pesado de los camiones que ingresan. No obstante, la Intendencia realizó una campaña de pesado de los camiones durante cuatro días en el mes de abril del 2012. De acuerdo con estos datos, durante esa campaña de pesado se ingresaron una media diaria de **58,82 Toneladas al día de residuos domiciliarios y comerciales de pequeños generadores**, que se recogen por los circuitos de recogida formales. Oficialmente, estas toneladas no incluyen los residuos de jardinería que son canalizados por un servicio específico para estos residuos. Sin embargo, aparece una cantidad considerable de este tipo de residuos debido a que la población los vierte a los contenedores convencionales.

La medición de las toneladas de residuos indicada, tampoco contempla los escombros, que son transportados por particulares o empresas. Los residuos industriales y comerciales, que son trasladados por sus generadores hasta el sitio de disposición final, también quedan excluidos, así como los residuos desechados por el circuito limpio de la ciudad.

En el SDF de Paysandú, los clasificadores que trabajan en él, no se encuentran organizados.

8.2 Diseño del plan de muestreo

Se ha seguido el procedimiento basado en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

8.2.1 Datos previos de caracterización de los RSU

La pre-caracterización de los RSU se ha realizado recopilando y consultando los antecedentes bibliográficos existentes disponibles, estos fueron:

- 1.- Datos de pesadas en los cuatro días de abril de 2012 de los camiones contenedores, facilitados por la Intendencia.
- 2.- Composición física de RSD obtenida el 5 abril 2012 por la Intendencia.
- 3.- CEPIS, OPS. "Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Uruguay". 1996.
- 4.- Intendencia Municipal de Paysandú. "Bases para un Plan Estratégico de Desarrollo", 1998.
- 5.- Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomo I y Tomo II (CSI Ingenieros, 2011).

8.2.2 Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos

Para diseñar un plan de muestreo aleatorio doblemente estratificado, además de tener en cuenta los datos poblacionales en estas zonas de recogida (ver Figura 8-1 y Tabla 8-1), debemos conocer sus niveles socioeconómicos.

Para ello, se ha consultado el estudio del CEISMU sobre el Índice de Nivel Socioeconómico en el 2012, pero únicamente menciona los porcentajes de dichos niveles para el conjunto del departamento de Paysandú (ver Tabla 8-2) sin situarlos geográficamente²⁷. Tampoco muestra información sobre los niveles socioeconómicos de la ciudad, que es de donde proceden los RSD que ingresan en

²⁷ CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)". 2012. Pág. 7.

el vertedero. En este caso, por tanto, la información del CEISMU no será de utilidad, debido a que no es posible seleccionar los recorridos de recogida de RSD correspondientes a dichos niveles, para poder representarlos en el plan de muestreo.

Tabla 8-2. Porcentajes de población en todo el Departamento de Paysandú según su nivel socioeconómico (CEISMU, 2012).

Nivel Socioeconómico	%
Bajo-, Bajo+	33 %
Medio-, Medio, Medio+	56 %
Alto-, Alto+	11 %

Dado que no se pudieron conseguir datos formales sobre la distribución de los niveles socioeconómicos en la ciudad por otras fuentes bibliográficas, se recurrió al personal de la Intendencia. El Sr. Emilio Roque Pérez, Director General de Servicios, informó que la ciudad se podía dividir en dos zonas: una zona centro o zona 9 con un nivel socioeconómico Medio-Alto donde, además, se concentra la mayoría de las actividades comerciales; y una zona periférica (zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) donde las clases medias se entremezclan con sectores más humildes.

Con esta información, no es posible estudiar los tipos de residuos generados por cada estrato, puesto que no se puede asignar de manera cierta un nivel socioeconómico a un recorrido de recogida.

Dada la dificultad de obtener información más precisa, el plan de muestreo se diseñó considerando estas dos zonas bien diferenciadas: zona centro, con nivel Medio-Alto y actividad comercial; y zona periférica, con un nivel resultante Medio.

8.2.3 Datos poblacionales

Para determinar el peso específico de cada recorrido dentro del conjunto, es necesario conocer cuál es la población correspondiente a cada uno de ellos. Según los datos del último censo realizado en el año 2011 por INE, cada zona cuenta con un número de habitantes que se muestran en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3. Distribución de la población de cada recorrido.

Zona	Población INE 2011	%
Circuito 1	10.642	13,93%
Circuito 2	7.376	9,65%
Circuito 3	5.967	7,81%
Circuito 4	7.325	9,59%
Circuito 5	6.783	8,88%
Circuito 6	7.151	9,36%
Circuito 7	7.622	9,98%
Circuito 8	sin censo	
Circuito 9 Centro	23.545	30,81%
Total	76.411	100,00%

8.2.4 Cálculo de número mínimo de muestras necesarias

Los datos de caracterizaciones previas con los que se trabajó fueron los facilitados por la Intendencia.

Considerando los porcentajes anteriormente obtenidos de la materia orgánica, el plástico, y el papel y cartón como los materiales más representativos dentro de la muestra de residuos, se obtienen los datos de la siguiente tabla.

Tabla 8-4. Datos previos de muestreos realizados en la ciudad de Paysandú.

Material	Muestreo 1998 ²⁸	Muestreo 1996 ²⁹	Muestreo 2012 ³⁰	Media X	Desviación S
Mat. Orgánico	60	58	48,2	55,40	5,16
Papel	11	13	8,78	10,93	1,72
Plástico	18	17	12,2	15,73	2,53

Con estos datos y mediante el método de cálculo indicado en la ASTM 5231-92 que ya se ha detallado anteriormente, se obtiene el número mínimo de muestras necesarias. Considerando un nivel de confianza del 90% y un error de muestreo o nivel de precisión del 10% ($e=0,1$).

Tabla 8-5. Número mínimo de camiones a partir de los datos previos.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t^*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0516	0,1	0,554	2
2º tanteo	2,92	0,0516	0,1	0,554	7
3º tanteo	1,8946	0,0516	0,1	0,554	3
4º tanteo	2,3534	0,0516	0,1	0,554	5
5º tanteo	2,015	0,0516	0,1	0,554	4
6º tanteo	2,1318	0,0516	0,1	0,554	4

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t^*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0172	0,1	0,1093	7
2º tanteo	1,8946	0,0172	0,1	0,1093	9
3º tanteo	1,8331	0,0172	0,1	0,1093	8
4º tanteo	1,8595	0,0172	0,1	0,1093	9

²⁸ Intendencia Municipal de Paysandú. "Bases para un Plan Estratégico de Desarrollo". 1998

²⁹ CEPIS, OPS. "Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Uruguay". 1996.

³⁰ Intendencia Municipal de Paysandú. "Análisis de RSU. Paysandú". 2012.

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0253	0,1	0,1573	7
2º tanteo	1,8946	0,0253	0,1	0,1573	9
3º tanteo	1,8331	0,0253	0,1	0,1573	9

Tras el análisis realizado a partir de la metodología ya expuesta, se llega a la conclusión de que el número mínimo de muestras a tomar son **9 camiones**.

8.2.5 Plan de muestreo

El método de muestreo adoptado es el aleatorio doblemente estratificado según la población y los dos niveles socioeconómicos considerados. Establecido esto, la elección de los camiones de cada una de las zonas será aleatoria.

Tras la obtención de todos los datos previos, se procede a diseñar el plan de muestreo tomando como referencia el número de muestras mínimas necesarias calculado anteriormente (9 camiones), el que se presenta en la Tabla 8-6.

Tabla 8-6. Distribución de los camiones según la población de cada recorrido.

Zona	Turno	Población INE 2011	%	n s/población
Circuito 1	6:00 a 12:00	10.642	13,93%	1
Circuito 2		7.376	9,65%	1
Circuito 3		5.967	7,81%	1
Circuito 4		7.325	9,59%	1
Circuito 5		6.783	8,88%	1
Circuito 6		7.151	9,36%	1
Circuito 7		7.622	9,98%	1
Circuito 8		sin censo		0
Circuito 9 Centro	22:00 a 4:00	23.545	30,81%	3
Total		76.411	100,00%	9

Se observa que el área correspondiente al circuito de recogida 8 tiene un carácter rural de baja densidad, y no se encuentra censado en el último estudio realizado por el INE en el año 2011. La Intendencia de Paysandú también desconoce el número de personas viviendo en dicha zona, pero informó de que no cuenta con gran cantidad de habitantes, por lo que supone una fracción muy pequeña respecto al total de la ciudad. Por tanto, se ha considerado despreciarla.

8.3 Trabajo desarrollado

8.3.1 Muestreo

En el SDF de Paysandú se vierten tanto residuos domiciliarios, como residuos comerciales. Tal y como ocurre en todas las ciudades muestreadas, los residuos de la construcción y demolición se eliminan al SDF en camiones específicos, y no a través de los camiones contenedores de recogida municipal. Todas las muestras estudiadas pertenecían a residuos domiciliarios de origen residencial, aunque se detectaron residuos procedentes de pequeños comercios.

La campaña de muestreo no cumplió con el plan de muestreo diseñado puesto que no se pudieron muestrear los camiones del centro o circuito 9, debido a que no se reunían las condiciones mínimas de seguridad para el personal. Además, algunos camiones diurnos tampoco pudieron muestrearse al ser abordados en el momento de su descarga por clasificadores no autorizados.

Estos hechos han podido provocar que el muestreo haya podido resultar sesgado. Pero por el hecho de haberse desarrollado de forma metódica, bien podría servir como un muestreo preliminar válido para campañas futuras.

El muestreo se realizó durante la última semana de enero del 2013, y se estudiaron los RSD de los camiones contenedores del turno matutino.

Tabla 8-7. Plan de muestreo y muestras realizadas.

Zona	Turno	Población INE 2011	%	n s/población	Muestra
Circuito 1	6:00 a 12:00	10.642	13,93%	1	
Circuito 2		7.376	9,65%	1	P2
Circuito 3		5.967	7,81%	1	P5
Circuito 4		7.325	9,59%	1	P3, P6
Circuito 5		6.783	8,88%	1	P4
Circuito 6		7.151	9,36%	1	
Circuito 7		7.622	9,98%	1	
Circuito 8		sin censo		0	P1, P7
Circuito 9 Centro	22:00 a 4:00	23.545	30,81%	3	
Total		76.411	100,00%	9	7

El plan de muestreo se vio modificado debido a la pérdida de la carga de dos camiones contenedores por el abordaje de los mismos y a la imposibilidad de muestrear los camiones nocturnos. Es por eso por lo que se consideró aumentar en lo posible el número de muestras, dadas las condiciones. Así, se observa, que en algunos circuitos se han tomado más muestras que las teóricamente necesarias.

8.3.2 Corrección por finos

Una vez definida la composición de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Paysandú, se procedió a corregir las fracciones finas para repartirlas en las diferentes fracciones en las que se ha considerado clasificar los RSD.

La metodología adoptada en este caso fue asumir que los residuos que pasaron a través de la malla presentan la misma composición porcentual en peso que los residuos de mayor tamaño que fueron segregados. Sin embargo, se hicieron algunas hipótesis básicas tales como no considerar dentro del material fino los residuos correspondientes a algunas fracciones que por su tamaño no pudieron atravesar la malla (p.ej. pañales, botellas de plástico, etc.).

Tabla 8-8. Corrección por finos.

Concepto	P1			P2			P3		
Total Finos	8%			15%			19%		
papel y cartón	8,42%	13,56%	1,13%	11,43%	18,07%	2,66%	8,38%	17,14%	3,20%
metales	2,19%	3,53%	0,29%	2,97%	4,69%	0,69%	2,08%	4,26%	0,80%
vidrios	3,29%	5,30%	0,44%	3,45%	5,46%	0,80%	2,95%	6,04%	1,13%
materia orgánica	38,23%	61,52%	5,13%	35,40%	55,97%	8,23%	25,47%	52,10%	9,74%
inertes pétreos	10,00%	16,09%	1,34%	10,00%	15,81%	2,32%	10,00%	20,45%	3,82%
Total	62,14%	100,00%	8%	63,25%	100,00%	15%	48,89%	100,00%	19%

Concepto	P4			P5		
Total Finos	18%			12%		
papel y cartón	9,45%	16,52%	2,97%	12,90%	23,98%	2,83%
metales	3,13%	5,47%	0,98%	1,35%	2,51%	0,30%
vidrios	3,27%	5,72%	1,03%	0,87%	1,62%	0,19%
materia orgánica	31,36%	54,81%	9,84%	28,67%	53,29%	6,29%
inertes pétreos	10,00%	17,48%	3,14%	10,00%	18,59%	2,20%
Total	57,22%	100,00%	18%	53,80%	100,00%	12%

Concepto	P6			P7		
Total Finos	22%			14%		
papel y cartón	6,72%	11,96%	2,63%	6,29%	11,34%	1,58%
metales	2,30%	4,10%	0,90%	3,83%	6,91%	0,96%
vidrios	2,02%	3,59%	0,79%	2,61%	4,70%	0,65%
materia orgánica	35,15%	62,56%	13,77%	32,74%	59,02%	8,23%
inertes pétreos	10,00%	17,80%	3,92%	10,00%	18,03%	2,51%
Total	56,19%	100,00%	22%	55,46%	100,00%	14%

8.3.3 Determinación de la composición física de los RSD

En la siguiente Tabla 8-9 se muestra la Composición Física obtenida para cada una de las muestras caracterizadas.

A su vez, en la Tabla 8-9 y en la Figura 8-3 se presentan la composición promedio obtenida de los RSD.

Tabla 8-9. Resultados de la caracterización de las muestras.

Material	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Papel y Cartón	10%	14%	12%	12%	16%	9%	8%
Pañales y apósitos	3%	3%	6%	3%	14%	4%	8%
Multilaminados (Tetrabrik)	1%	0,1%	0,2%	1%	0,3%	1%	0,1%
Metales	2%	4%	3%	4%	2%	3%	5%
Plásticos Film	9%	10%	10%	11%	12%	9%	12%
Plásticos Botellas	1%	2%	2%	4%	2%	3%	2%
Plásticos Otros	8%	4%	3%	4%	3%	3%	3%
Vidrio	4%	4%	4%	4%	1%	3%	3%
Textiles	6%	4%	4%	6%	2%	4%	13%
Materia Orgánica	43%	45%	35%	41%	35%	49%	41%
Goma, Cuero, Corcho	4%	1%	4%	1%	1%	1%	2%
Madera y jardinería	6%	1%	10%	3%	6%	1%	0,5%
Escombros	1%	2%	2%	1%	0%	1%	1%
Materiales Compuestos	0,5%	3%	1%	0,2%	2%	2%	0%
Residuos Peligrosos	0%	1%	0%	0%	2%	1%	0%
Inertes Pétreos	2%	3%	4%	4%	3%	4%	3%

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

Tabla 8-10. Medias y desviaciones estándar de los componentes estudiados.

Material	Media	Intervalo de confianza	
Papel y Cartón	11,88%	6%	17%
Pañales y apósitos	4,87%	0%	13%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,51%	0%	1%
Metales	3,36%	1%	5%
Plásticos Film	10,41%	8%	12%
Plásticos Botellas	2,47%	1%	4%
Plásticos Otros	3,42%	1%	7%
Vidrio	3,46%	1%	5%
Textiles	4,53%	0%	12%
Materia Orgánica	42,48%	32%	50%
Goma, Cuero, Corcho	2,17%	0%	4%
Madera y jardinería	4,09%	0%	10%
Escombros	1,23%	0%	3%

Material	Media	Intervalo de confianza	
Materiales Compuestos	1,30%	0%	3%
Residuos Peligrosos	0,55%	0%	2%
Inertes Pétreos	3,27%	2%	5%

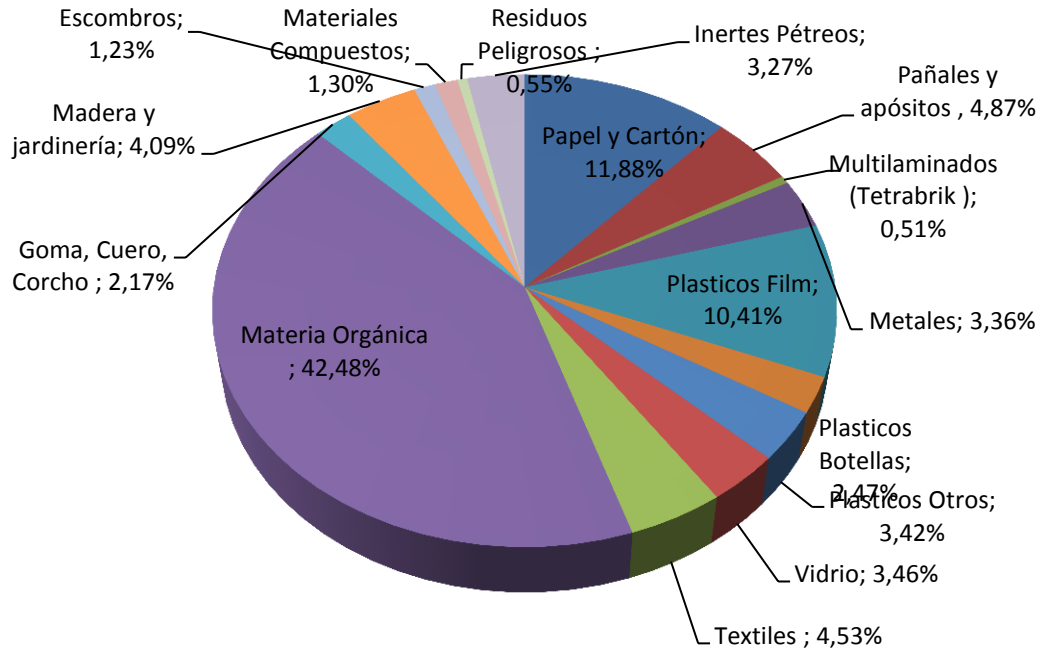


Figura 8-3 Composición física de los RSD de las muestras tomadas.

8.3.4 Determinación de la Densidad Aparente

En campo se determinaron las densidades aparentes de cada una de las unidades muestrales. En la Tabla 8-11 se presentan los resultados de la densidad aparente de cada una de las muestras así como la media de las mismas.

Tabla 8-11. Densidad aparente de las muestras.

Muestra	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Media
Densidad Aparente (kg/m3)	110,00	278,46	320,00	290,00	317,69	263,85	294

8.3.5 Validación del número de muestras vehiculares

Con los valores obtenidos de la composición física, se efectúa la validación del número de muestras. Esto es, se debe comprobar si el número de muestras obtenido es suficiente para extrapolar los resultados a la población con un determinado margen de error. Para ello, se vuelven a determinar el número mínimo de muestras necesarias para conseguir la representatividad, pero esta vez utilizando los valores promedio y de desviación típica obtenidos en el muestreo realizado.

Por tanto, se aplica de nuevo la fórmula para la determinación del número de muestras propuesta por la ASTM D5231-92.

Tabla 8-12. Cálculo del número mínimo de muestras tomando los datos obtenidos en el muestreo.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0455	0,1	0,4248	3
2º tanteo	2,3534	0,0455	0,1	0,4248	6
3º tanteo	1,9432	0,0455	0,1	0,4248	4
4º tanteo	2,1318	0,0455	0,1	0,4248	5
5º tanteo	2,015	0,0455	0,1	0,4248	5

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0259	0,1	0,1188	13
2º tanteo	1,7709	0,0259	0,1	0,1188	15
3º tanteo	1,7531	0,0259	0,1	0,1188	15

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0116	0,1	0,1041	3
2º tanteo	2,3534	0,0116	0,1	0,1041	7
3º tanteo	1,8946	0,0116	0,1	0,1041	4
4º tanteo	2,1318	0,0116	0,1	0,1041	6
5º tanteo	1,9432	0,0116	0,1	0,1041	5
6º tanteo	2,015	0,0116	0,1	0,1041	5

Se observa que, en principio, el número de muestras tomadas no permiten asegurar la representatividad.

8.4 Discusión de los resultados

8.4.1 Composición Física de los residuos

Como fuera mencionado anteriormente, la ciudad de Paysandú cuenta con una campaña de caracterización previa, se compara los datos obtenidos en dicha campaña con los obtenidos en el presente estudio, Tabla 8-13.

Tabla 8-13. Comparativa de composición de RSD del muestreo realizado por LKSur con la composición resultante realizado por la Intendencia de Paysandú.

Material	Muestreo actual 2013		Paysandú 2012 ³¹
Papel y Cartón	11,88%	11,88%	8,78%
Plásticos Film	10,41%	10,41%	12,20%
Multilaminados	0,51%	16,81%	17,60%
Plásticos Film	10,41%		
Plásticos Botellas	2,47%		
Plásticos Otros	3,42%		
Vidrio	3,46%	3,61%	2,25%
Metales	4,53%	2,72%	2,25%
Materia Orgánica	42,48%	48,74%	48,20%
Goma, Cuero, Corcho	2,17%		
Madera y jardinería	4,09%		
Pañales y apósitos	4,87%	4,87%	n.d
Textiles	4,53%	4,53%	8,78
Escombros	1,23%	1,23%	n.d.
Materiales Compuestos	1,30%	1,30%	n.d.
Residuos Peligrosos	0,55%	0,55%	n.d.
Inertes pétreos	3,27%	3,27%	n.d.

Cabe comentar que el muestreo realizado por la Intendencia en 2012, separa los residuos en 7 tipos de fracciones: Papel y Cartón, Plásticos Film (Nylon), Plásticos, Trapos, Vidrio, Metales y Materia orgánica. Se ha intentado unificar las fracciones del muestreo del presente informe con las fracciones del muestreo de la Intendencia en 2012, para poder realizar la comparativa.

Sin embargo, hay algunas fracciones que desconocemos cómo se han clasificado por parte de Intendencia. Estas se han identificado como n.d (no definidas). Por lo que, existe un porcentaje del 11,22% de la muestra que no ha podido ser repartido según las fracciones de nuestro muestreo.

A pesar del desconocimiento de los detalles del muestreo realizado por la Intendencia y el posible sesgo con el que cuenta el presente muestreo realizado en Paysandú, parecen detectarse coincidencias en la composición física resultante, como puede observarse en la Tabla 8-13.

A modo ilustrativo, a continuación se comparan los datos promedio obtenidos en la ciudad de Paysandú con la composición física de los residuos de varios lugares de América del Sur.

³¹ Composición física de RSD obtenida el 5 abril 2012 por la Intendencia.

Tabla 8-14. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	Paysandú Muestreo 2013	Fichtner- LKSur 2004 ³²	Buenos Aires 2009 ³³	Santiago Chile 2006 ³⁴	Salvador Bahía 2010 ³⁵
Papel y Cartón	11,88%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	4,87%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados	0,51%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	3,36%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	10,41%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	2,47%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	3,42%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	3,46%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	4,53%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	42,48%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	2,17%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	4,09%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	1,23%		2,20%		
Materiales Compuestos	1,30%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,55%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	3,27%		1,16%		

Los desechos alimenticios, es el mayor componente presente con el 42,48% en peso, que junto con la Madera y jardinería, 4,09%, se obtiene la fracción putrescible total con un 46,57%.

Los residuos plásticos son el segundo componente más numeroso, con el 16,30%, que se mueve dentro de los rangos de variabilidad de valores encontrados en otras ciudades de Latino América. Por la elevada cantidad de bolsas de plástico seguimos teniendo valores elevados respecto a valores de países europeos desarrollados (7% - 10%).

El tercer componente en abundancia son los papeles y el cartón con el 11,88%.

Se siguen detectando cantidades relativamente altas de tierras, 3,27%. Los

³² FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

³³ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

³⁴ ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

³⁵ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

residuos muestreados presentaban cantidades de hojas de jardinería.



Figura 8-4 Presencia de hojas de jardinería en las muestras.

El porcentaje en pañales y apósitos es del 4,87%, tan abundante como en otras ciudades. Su contenido está muy relacionado con el nivel de natalidad de la zona estudiada.

Aunque los porcentajes de composición obtenidos parecen ser valores coherentes, hay que recordar que el tamaño muestral ha resultado ser insuficiente para asegurar la representatividad de la población, y no se ha cumplido con el Plan de muestreo diseñado.

8.4.2 Densidad Aparente

Los valores de densidad son totalmente esperables a lo que correspondería una muestra de RSD sin compactar. Estos oscilan entre 110,00 kg/m³ – 320,00 kg/m³, con un promedio de 294 kg/m³.

Valores promedio en algunas ciudades son: Buenos Aires 184,51 kg/m³³⁶, Santiago de Chile 231,20 kg/m³³⁷, Salvador de Bahía 228,11 kg/m³³⁸.

³⁶ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

³⁷ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

³⁸ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

9 SDF SALTO, SALTO

9.1 Área de Estudio

9.1.1 Gestión de residuos en Salto

La Intendencia de Salto gestiona los residuos domiciliarios, de limpieza y mantenimiento viario, comerciales, agrícolas e industriales de la ciudad. Los residuos de jardinería, escombros y voluminosos se retiran de la calle previa llamada a la intendencia, que los deposita en el SDF de Salto.

El SDF gestiona los residuos de la ciudad, de forma que, el resto de municipios del departamento se encargan de su propia gestión de residuos.

En la ciudad de Salto, la recolección de RSU se organiza en 6 zonas, presentadas en la

Figura 9-1, que derivan los residuos recogidos directamente al Sitio de Disposición Final de Salto. A su vez en la Tabla 9-1 se presentan las frecuencias de los recorridos realizados para cada una de las zonas mencionadas.

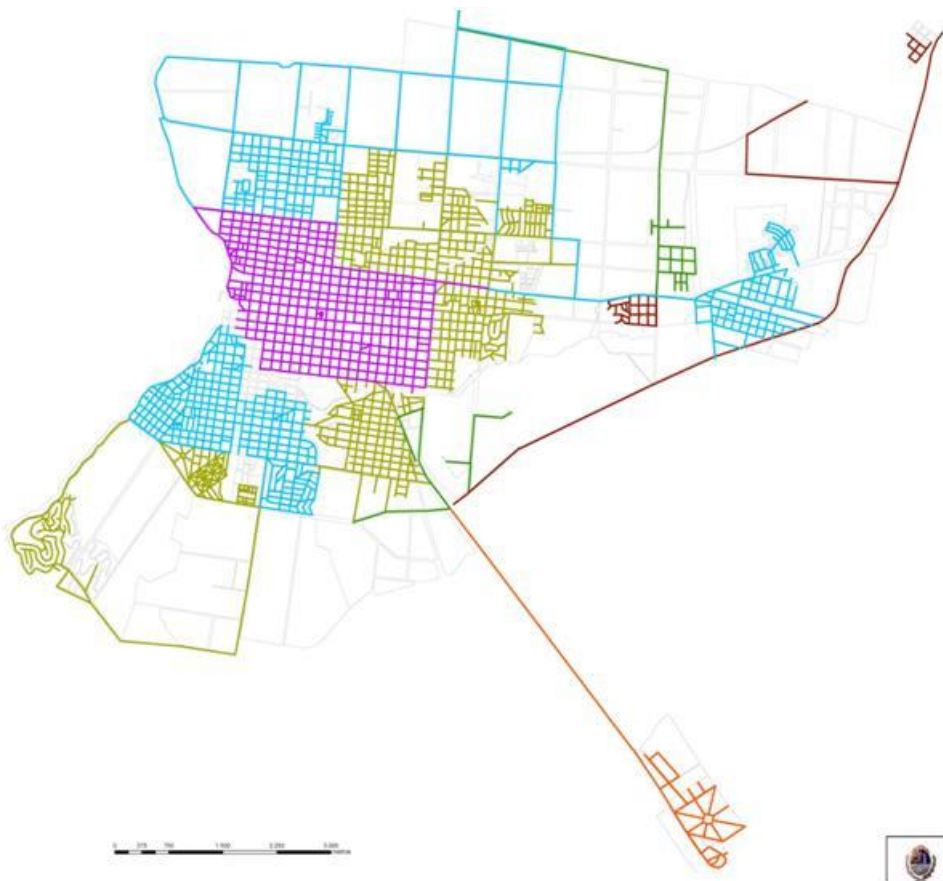


Figura 9-1. Zonas de recogida de la ciudad de Salto.

Tabla 9-1. Días y turnos de los recorridos de recolección.

Zona	Id	Días recogida	Horario
Zona Morada		D, L, M, X, J, V	22:00 a 4:00
Zona Roja		D, L, M, X, J, V	6:00 a 12:00
Zona Azul		L, X, V	13:00 a 19:00
Zona Marrón		L, X, V	6:00 a 12:00
Zona Verde Oscuro		M, J, S	6:00 a 12:00
Zona Verde Claro		M, J, S	13:00 a 19:00

Según la información facilitada por la Intendencia de Salto, la recolección de los residuos se realiza siguiendo los recorridos marcados en el plano superior. Todos ellos se centran en recoger exclusivamente los residuos domiciliarios (RSD). La zona roja se encuentra sin censar, y la intendencia únicamente podía asegurar que era un área poco poblada sin aclarar cuál era su número de habitantes, por lo que finalmente no se tuvo en cuenta.

Los residuos de jardinería y los escombros se recogen con camiones de caja abierta, los cuales no se reflejan en los recorridos arriba marcados.

El servicio de recolección de la ciudad de Salto no cuenta con ningún circuito limpio para la recogida de residuos específicos de comercios e industria.

9.1.2 Sitio de Disposición Final (SDF)

La ciudad de Salto cuenta con un único Sitio de Disposición Final (SDF). Allí se realizó el presente estudio de caracterización, situado en la Calle San Martín, a unos 7 km hacia el norte de la ciudad, como puede verse en la Figura 9-2.

El sitio no dispone de balanza para el pesado de los camiones que ingresan. No obstante, la Intendencia realizó una campaña de pesado de los camiones durante una semana en el mes de abril del 2012. De acuerdo con estos datos, esos ocho días se ingresaron 423,2 Tm, lo que supone una media de **53 Toneladas al día de residuos domiciliarios y comerciales de pequeños generadores**, que se recogen por los circuitos de recogida formales. Oficialmente, estas toneladas no incluyen los residuos de jardinería que son canalizados por un servicio específico para estos residuos. Sin embargo, aparece una cantidad considerable de este tipo de residuos debido a que la población los vierte a los contenedores convencionales.

La medición de las toneladas de residuos indicada, tampoco contempla los escombros, que son transportados por particulares o empresas. Los residuos industriales y comerciales, que son trasladados por sus generadores hasta el sitio de disposición final, también quedan excluidos.

En el SDF de Salto, los clasificadores que trabajan en él, se encuentran organizados en la cooperativa llamada "Las Gaviotas".

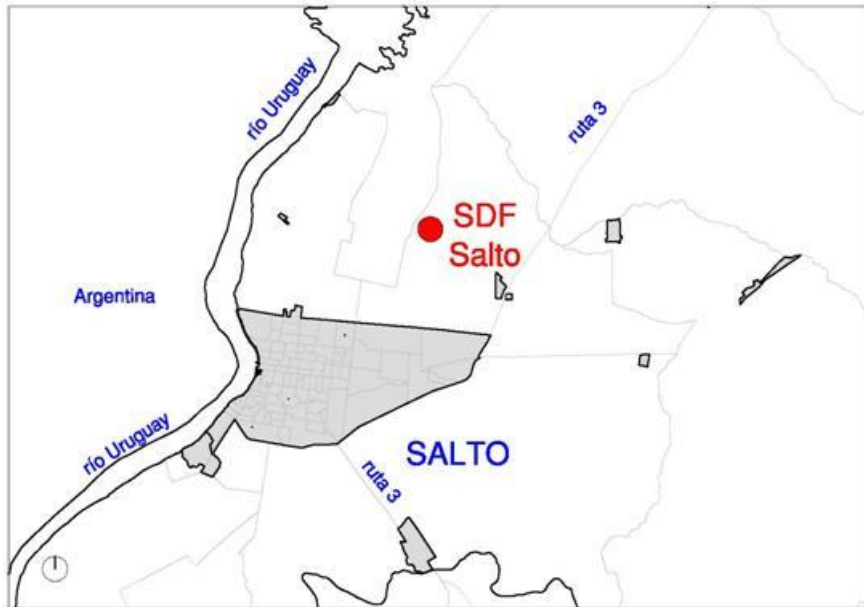


Figura 9-2. Ubicación del SDF de Salto.

9.2 Diseño del plan de muestreo

Se ha seguido el procedimiento basado en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

9.2.1 Datos previos de caracterización de los RSU

La pre-caracterización de los RSU se ha realizado recopilando y consultando los antecedentes bibliográficos existentes disponibles. Estos fueron:

- 1.- Datos de pesadas en la semana de abril de 2012 de los camiones contenedores.
- 2.- Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomo I y Tomo II (CSI Ingenieros, 2011).

9.2.2 Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos

Para diseñar un plan de muestreo aleatorio doblemente estratificado, además de tener en cuenta los datos poblacionales en estas zonas de recogida (Figura 9-2, y Tabla 9-1), debemos conocer su nivel socioeconómico.

Para ello, se consultó el estudio del CEISMU sobre el Índice de Nivel Socioeconómico en el 2012, pero únicamente menciona los porcentajes de dichos niveles para el conjunto del departamento de Salto (ver Tabla 9-2) sin situarlos geográficamente³⁹. Tampoco muestra información sobre los niveles socioeconómicos en la ciudad, que es de donde proceden los RSD que ingresan en el vertedero. Por lo que la información del CEISMU no será de utilidad, dado que no es posible seleccionar los recorridos de recogida de RSD correspondientes a dichos niveles, para poder representarlos en el plan de muestreo.

Tabla 9-2. Porcentajes de población en todo el Departamento de Salto según su nivel socioeconómico (CEISMU, 2012).

³⁹ CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)". 2012. Pág. 7.

Nivel Socioeconómico	%
Bajo-, Bajo+	38 %
Medio-, Medio, Medio+	52 %
Alto-, Alto+	10 %

Dado que no pudo conseguirse datos la distribución de los niveles socioeconómicos de la ciudad por otras fuentes bibliográficas, se recurrió a la Intendencia. El Sr. Alberto Trípodí, responsable de la Unidad de Recolección, nos informó sobre los niveles que, se detectaban en las diferentes zonas de recogida. Esta información queda resumida en la siguiente tabla:

Tabla 9-3. Niveles socioeconómicos detectados en las diferentes zonas de recogida de RSD en la ciudad de Salto.

Zona	Id	Descripción	% Población INE 2011
Zona Morada		Centro. Nivel Medio. Zona muy homogénea	26,46%
Zona Roja		Humilde	
Zona Azul		Norte: Pudiente y Humilde Sur costanero: Pudiente Sur no costanero: Menos pudiente, más humilde	28,28%
Zona Marrón		Humilde	1,42%
Zona Verde Oscuro		Humilde	3,63%
Zona Verde Claro		Humilde	40,20%

Con esta información, tampoco fue posible asignar de manera cierta un nivel socioeconómico a un recorrido de recogida. Por ello, se han considerado tres zonas de diferente nivel socioeconómico:

1.- zona morada o centro con un nivel socioeconómico Medio-Alto y donde se concentra la mayoría de las actividades comerciales (26,46%)

2.- zona azul donde las clases medias se entremezclan con sectores más humildes. Se considera un nivel resultante Medio (28,28%)

3.- zonas roja, marrón y verdes de clase humilde (45,25%).

9.2.3 Datos poblacionales

Para determinar el peso específico de cada recorrido dentro del conjunto, es necesario conocer cuál es la población correspondiente a cada uno de ellos. Según los datos del último censo realizado en el año 2011 por el INE, cada zona cuenta con un número de habitantes que se muestran en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4 Población de Salto

Zona	Población INE 2011 (hab)	% Población
Zona Morada	27.521	26,46%
Zona Roja	Sin censar	
Zona Azul	29.419	28,28%
Zona Marrón	1.481	1,42%
Zona Verde Oscuro	3.777	3,63%

Zona	Población INE 2011 (hab)	% Población
Zona Verde Claro	41.813	40,20%
Total	104.011	100%

9.2.4 Cálculo de número mínimo de muestras necesarias

La Intendencia de Salto no dispone de muestreos previos de caracterización de residuos, por tanto, no podemos disponer de datos previos que se puedan tomar como referencia para realizar una primera estimación del número de muestras a estudiar.

Por otro lado, Salto fue la primera localidad que se muestreaba en el interior y no se disponía de datos de ninguna otra población.

Esta situación obligó a aplicar la norma de referencia ASTM 5231-92 para estos casos, y tomar los datos sugeridos en dicha norma, donde se indican los valores medios y desviaciones estándar de las fracciones estudiadas en varios muestreos semanales de distintas ciudades de Estados Unidos. A partir de ahí, en la siguiente tabla se ha calculado el número mínimo de muestras necesarias.

Tabla 9-5. Número mínimo de muestras necesarias según ASTM 5231-92.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,03	0,2	0,1	6
2º tanteo	1,9432	0,03	0,2	0,1	8
3º tanteo	1,8595	0,03	0,2	0,1	8

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,07	0,2	0,1	33
2º tanteo	1,6924	0,07	0,2	0,1	35
3º tanteo	1,6896	0,07	0,2	0,1	35

Nº muestras Plástico	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,03	0,2	0,09	8
2º tanteo	1,8595	0,03	0,2	0,09	10
3º tanteo	1,8125	0,03	0,2	0,09	9
4º tanteo	1,8331	0,03	0,2	0,09	9

Como se puede observar, el número mínimo de muestras a tomar según la citada norma, son las 35 referentes a la sección del papel. La necesidad de estudiar un valor tan alto de muestras, se considera desproporcionado, teniendo en cuenta los condicionantes del propio proyecto y la utilización de los valores teóricos de referencia utilizados.

Como la segunda fracción más determinante es el plástico, con 9 muestras, éstas se van a tomar inicialmente como el número mínimo necesario. Tras los resultados obtenidos, se verificará si este número de muestras es válido o por el

contrario, se necesitan tomar más muestras.

9.2.5 Plan de muestreo

El método de muestreo adoptado es el aleatorio doblemente estratificado según los niveles socioeconómicos establecidos y la población existente en cada una de las zonas de recogida de RSU. De acuerdo con la distribución de población, generación de residuos y zonas de recogida se obtiene la distribución de camiones presentada en la Tabla siguiente. Establecido esto, la elección de los camiones de cada una de las zonas será aleatoria.

Tabla 9-6. Distribución de los camiones según la población de cada recorrido.

Zona	Días recogida	Horario	Tn RSU/día	% RSU	n s/ RSU	Población INE 2011	% Pob	n s/Pob
Zona Morada	D, L, M, X, J, V	22:00 a 4:00	14,19	23,43%	2	27.521	26,46%	3
Zona Roja	D, L, M, X, J, V	6:00 a 12:00	0,00	0,00%	0	Sin censar		0
Zona Azul	L, X, V	13:00 a 19:00	17,88	29,53%	3	29.419	28,28%	3
Zona Marrón	L, X, V	6:00 a 12:00	5,89	9,72%	1	1.481	1,42%	0
Zona Verde Oscuro	M, J, S	6:00 a 12:00	2,51	4,14%	0	3.777	3,63%	0
Zona Verde Claro	M, J, S	13:00 a 19:00	20,10	33,19%	3	41.813	40,20%	4
Total			60,56	100%	10	104.011	100%	10

9.3 Trabajo desarrollado

9.3.1 Muestreo

Como universo de muestreo se consideró el conjunto de rutas de recolección. Siendo la unidad muestral primaria, el camión recolector, el cual tiene asignada una ruta fija de recolección. La selección del camión recolector fue totalmente aleatoria dentro de una zona de recolección elegida, presentándose en la Tabla siguiente la comparación entre el muestreo planificado y el realizado.

En el SDF de Salto se vierten tanto residuos domiciliarios, como residuos comerciales. Parte de los residuos de la construcción y demolición también se consideran RSU. No obstante, su cauce de eliminación a SDF no suele ser a través de los camiones contenedores de recogida municipal. Todas las muestras estudiadas pertenecían a residuos domiciliarios de origen residencial, aunque se detectaron residuos procedentes de pequeños comercios.

El muestreo de la ciudad de Salto, se realizó durante la tercera semana de enero del 2013. Durante esos días, se estudiaron los camiones de los turnos de noche y de tarde, puesto que los de horario matutino se encargaban de recolectar los residuos de limpieza viaria, restos de RSD que no habían podido ser recogidos durante el turno vespertino o nocturno, residuos industriales y residuos de centros habitacionales grandes. Dado el carácter de estos residuos, los camiones del horario matutino no se tuvieron en cuenta en el presente estudio.

El último día de muestreo amenazaba tormenta, comenzando a llover a partir de la muestra S9. Todavía restaban dos camiones más, S10 y S11, que ya habían sido descargados sobre la lona, por lo que se tomó la decisión de mezclarlos para terminar el muestreo antes de que las condiciones meteorológicas empeorasen.



Figura 9-3. Amenaza de tormenta en el momento de realizar el muestreo del S9.

Tabla 9-7. Plan de muestreo y muestras realizadas.

Zona	Días recogida	Horario	Tn RSU/día	% RSU	n s/RSU	Pob. INE 2011	% Pob	n s/Pob	Muestra
Zona Morada	D, L, M, X, J, V	22:00 a 4:00	14,19	23,43%	2	27.521	26,46%	3	S1, S2, S10-11
Zona Roja	D, L, M, X, J, V	6:00 a 12:00	0,00	0,00%	0	Sin censar		0	
Zona Azul	L, X, V	13:00 a 19:00	17,88	29,53%	3	29.419	28,28%	3	S7, S8, S9
Zona Marrón	L, X, V	6:00 a 12:00	5,89	9,72%	1	1.481	1,42%	0	
Zona Verde Oscuro	M, J, S	6:00 a 12:00	2,51	4,14%	0	3.777	3,63%	0	
Zona Verde Claro	M, J, S	13:00 a 19:00	20,10	33,19%	3	41.813	40,20%	4	S3, S4, S5, S6
Total			60,56	100%	10	104011	100%	10	10-11

9.3.2 Corrección por finos

Una vez definida la composición de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Salto, se procedió a corregir las fracciones finas para repartirlas en las diferentes fracciones en las que se ha considerado clasificar los RSD.

La metodología adoptada en este caso fue asumir que los residuos que pasaron a través de la malla presentan la misma composición porcentual en peso que los residuos de mayor tamaño que fueron segregados. Sin embargo, se hicieron algunas hipótesis básicas tales como no considerar dentro del material fino los residuos correspondientes a algunas fracciones que por su tamaño no pudieron atravesar la malla (p.ej. pañales, botellas de plástico, etc.).

Tabla 9-8. Corrección por finos.

Concepto	S1			S2			S3		
Total finos	17%			14%			19%		
papel y cartón	16,53%	25,16%	4,38%	16,65%	24,07%	3,27%	9,11%	18,19%	3,52%
metales	1,66%	2,53%	0,44%	3,97%	5,74%	0,78%	1,99%	3,97%	0,77%
vidrios	3,08%	4,69%	0,82%	2,41%	3,48%	0,47%	2,94%	5,86%	1,13%
materia orgánica	34,42%	52,40%	9,12%	36,15%	52,25%	7,09%	26,05%	52,01%	10,06%
inertes pétreos	10,00%	15,22%	2,65%	10,00%	14,45%	1,96%	10,00%	19,97%	3,86%
Total	65,70%	100,00%	17%	69,19%	100,00%	14%	50,09%	100,00%	19%

Concepto	S4			S5			S6		
Total finos	21%			18%			25%		
papel y cartón	6,89%	12,44%	2,60%	12,75%	19,96%	3,55%	7,45%	14,18%	3,55%
metales	3,43%	6,19%	1,30%	1,82%	2,85%	0,51%	4,80%	9,13%	2,28%
vidrios	2,15%	3,88%	0,81%	4,07%	6,38%	1,14%	0,92%	1,74%	0,44%
materia orgánica	32,88%	59,42%	12,43%	35,23%	55,15%	9,82%	29,36%	55,90%	13,97%
inertes pétreos	10,00%	18,07%	3,78%	10,00%	15,66%	2,79%	10,00%	19,04%	4,76%
Total	55,34%	100,00%	21%	63,87%	100,00%	18%	52,52%	100,00%	25%

Concepto	S7			S8		
Total finos	31%			10%		
papel y cartón	5,09%	9,81%	3,02%	14,75%	23,66%	2,31%
metales	2,26%	4,36%	1,34%	2,04%	3,27%	0,32%
vidrios	3,19%	6,15%	1,89%	1,95%	3,13%	0,30%
materia orgánica	31,35%	60,41%	18,59%	33,61%	53,90%	5,25%
inertes pétreos	10,00%	19,27%	5,93%	10,00%	16,04%	1,56%
Total	51,90%	100,00%	31%	62,35%	100,00%	10%

Concepto	S9			S10-11		
Total finos	18%			12%		
papel y cartón	5,14%	11,51%	2,03%	7,10%	12,67%	1,56%
metales	2,57%	5,75%	1,02%	1,33%	2,37%	0,29%
vidrios	0,78%	1,75%	0,31%	2,68%	4,78%	0,59%
materia orgánica	26,19%	58,61%	10,36%	34,95%	62,34%	7,67%
inertes pétreos	10,00%	22,38%	3,95%	10,00%	17,84%	2,20%
Total	44,69%	100,00%	18%	56,05%	100,00%	12%

9.3.3 Determinación de la composición física de los RSD

En la Tabla 9-9 se muestra la Composición Física de los RSD de la ciudad de Salto obtenida para cada una de las muestras caracterizadas.

A su vez, en la Tabla 9-10 y Figura 9-4 se presentan la composición promedio obtenida de los RSD.

Tabla 9-9. Resultados de la caracterización de las muestras.

Material	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10-11
Papel y Cartón	21%	20%	11%	9%	16%	11%	8%	17%	7%	9%
Pañales y apósitos	4%	3%	8%	7%	5%	7%	4%	8%	9%	13%
Multilaminados (Tetrabrik)	0%	0,2%	0,5%	1%	0,1%	1%	0,3%	0,2%	0,1%	1%
Metales	2%	5%	2%	5%	2%	7%	4%	2%	4%	2%
Plásticos Film	10%	11%	9%	13%	11%	10%	9%	13%	13%	13%
Plásticos Botellas	2%	2%	3%	2%	2%	1%	1%	3%	3%	3%
Plásticos Otros	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	6%	3%	5%
Vidrio	4%	3%	4%	3%	5%	1%	5%	2%	1%	3%
Textiles	2%	2%	6%	2%	2%	5%	2%	4%	9%	2%
Materia Orgánica	44%	43%	36%	45%	45%	43%	50%	39%	37%	43%
Goma, Cuero, Corcho	1%	2%	4%	2%	1%	1%	1%	2%	2%	0%
Madera y jardinería	2%	2%	2%	3%	2%	1%	6%	2%	8%	4%
Escombros	1%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	0,3%	0%	1%
Materiales Compuestos	2%	1%	1%	1%	0,4%	2%	0,4%	0%	0,2%	0,3%
Residuos Peligrosos	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0,3%	0%	1%
Inertes Pétreos	3%	2%	4%	4%	3%	5%	6%	2%	4%	2%

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

Tabla 9-10. Medias y desviaciones estándar de los componentes estudiados.

Material	Media	Intervalo de confianza	
Papel y Cartón	13,27%	4%	23%
Pañales y apósitos	7,05%	1%	13%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,37%	0%	1%
Metales	3,53%	0%	7%
Plásticos Film	11,40%	9%	14%
Plásticos Botellas	2,23%	1%	4%
Plásticos Otros	3,14%	1%	6%
Vidrio	3,24%	1%	6%
Textiles	3,08%	0%	8%
Materia Orgánica	42,94%	34%	50%
Goma, Cuero, Corcho	1,58%	0%	4%
Madera y jardinería	2,72%	0%	7%
Escombros	0,56%	0%	1%
Materiales Compuestos	0,91%	0%	2%

Material	Media	Intervalo de confianza	
Residuos Peligrosos	0,21%	0%	1%
Inertes Pétreos	3,76%	1%	6%

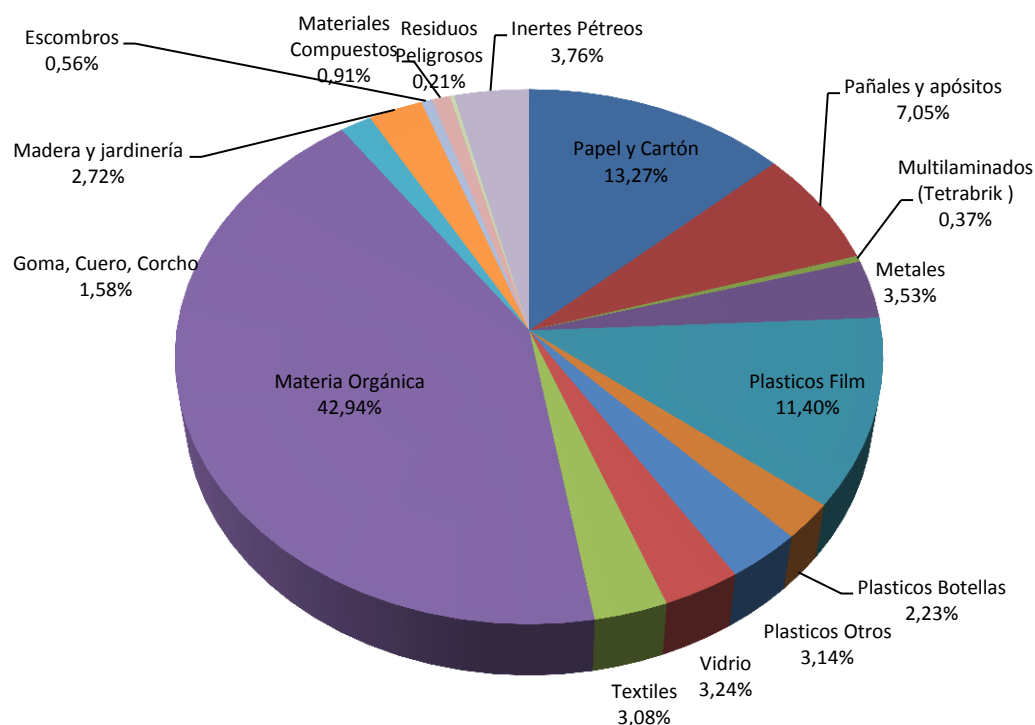


Figura 9-4. Composición física de los RSD de las muestras tomadas.

9.3.4 Determinación de la Densidad Aparente

En campo se determinaron las densidades aparentes de cada una de las unidades muestrales, en la Tabla 9-11 se presentan los resultados de la densidad aparente de cada una de las muestras así como la media de las mismas.

Tabla 9-11. Densidad aparente de las muestras.

Muestra	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10-11	Media
Densidad Aparente (kg/m3)	216,15	202,31	202,31	176,15	357,69	190,15	201,54	186,15	193,85	208,46	235,8

9.3.5 Validación del número de muestras vehiculares

Con los valores obtenidos de la composición física, se efectúa la validación del número de muestras. Esto es, se debe de comprobar si el número de muestras obtenido es suficiente para extrapolar los resultados a la población con un determinado margen de error. Para ello, se vuelve a determinar el número mínimo de muestras necesarias para conseguir la representatividad, pero esta vez utilizando los valores promedio y de desviación típica obtenidos en nuestro

muestreo.

Por tanto, aplicando de nuevo la fórmula para la determinación de número de muestras propuesta por la ASTM D5231-92, se obtienen los siguientes datos que nos confirman los 9 camiones a muestrear.

Tabla 9-12. Cálculo del número mínimo de muestras tomando los datos obtenidos en el muestreo.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0402	0,1	0,4294	2
2º tanteo	2,92	0,0402	0,1	0,4294	7
3º tanteo	1,8946	0,0402	0,1	0,4294	3
4º tanteo	2,3534	0,0402	0,1	0,4294	5
5º tanteo	2,015	0,0402	0,1	0,4294	4
6º tanteo	2,1318	0,0402	0,1	0,4294	4

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,048	0,2	0,1327	9
2º tanteo	1,8331	0,048	0,2	0,1325	11
3º tanteo	1,7959	0,048	0,2	0,1325	11

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0137	0,1	0,114	4
2º tanteo	2,1318	0,0137	0,1	0,114	7
3º tanteo	1,8946	0,0137	0,1	0,114	5
4º tanteo	2,015	0,0137	0,1	0,114	6
5º tanteo	1,9432	0,0137	0,1	0,114	5

Se observa que la validación del método da un número de muestras igual al número de muestras realizado (11). En este caso, el método se ha validado con un error de muestreo o precisión (e) del 10% para las fracciones de la materia orgánica y del plástico film, y del 20% para la del papel y el cartón.

9.4 Discusión de los resultados

9.4.1 Composición Física de los residuos

Si se comparan los valores promedio de composición física obtenidos en Salto con la Composición Física de los RSU en varios lugares de América del Sur, obtenemos:

Tabla 9-13. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	Salto Muestreo 2013	Fichtner- LKSur 2004 ⁴⁰	Buenos Aires 2009 ⁴¹	Santiago Chile 2006 ⁴²	Salvador Bahía 2010 ⁴³
Papel y Cartón	13,27%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	7,05%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados	0,37%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	3,53%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	11,40%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	2,23%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	3,14%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	3,24%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	3,08%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	42,94%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	1,58%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	2,72%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	0,56%		2,20%		
Materiales Compuestos	0,91%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,21%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	3,76%		1,16%		

Los desechos alimenticios es el primer componente con el 42,94% en peso, que junto con la Madera y jardinería (2,72%), se obtiene la fracción putrescible total con un 45,66%.

Los residuos plásticos es el segundo componente más numeroso, con el 16,77%, encontrándose dentro del intervalo en el que oscilan los valores en otras ciudades de latino América. Pese a todo, si lo comparamos con valores de países

⁴⁰ FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

⁴¹ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

⁴² ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

⁴³ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

Europeos desarrollados (7% - 10%), comprobamos que este porcentaje es alto, debido al enorme contenido en bolsas de plástico.

El tercer componente en abundancia son el papel y cartón (13,27%).

Comentar que en todos los casos, se ha detectado cantidades relativamente altas de tierras; 3,76%. Los residuos muestreados presentaban cantidades considerables de hojas de jardinería y pasto.

El porcentaje en pañales y apósitos es del 7,05%, tan abundante como en otras ciudades. Su contenido está muy relacionado con el nivel de natalidad de la zona estudiada.

9.4.2 Densidad Aparente

Los valores de densidad son totalmente esperables a lo que correspondería una muestra de RSD sin compactar. Estos oscilan entre 176,15 kg/m³ – 357,69 kg/m³, con un promedio de 236 kg/m³.

Valores promedio en algunas ciudades son: Buenos Aires 184,51 kg/m³⁴⁴, Santiago de Chile 231,20 kg/m³⁴⁵, Salvador de Bahía 228,11 kg/m³⁴⁶.

⁴⁴ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

⁴⁵ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

⁴⁶ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

10 SDF SAN JOSÉ, SAN JOSÉ

10.1 Área de Estudio

10.1.1 Gestión de residuos en San José

El sitio de Disposición Final de San José de Mayo recibe los RSU en todos los municipios del departamento, excepto en la localidad de Ciudad del Plata y una parte de Libertad.

La operativa de la recolección de los RSD en la ciudad de San José se estructura en 3 zonas: Zona Centro (C), Zona Nor-Este (NE) y Zona Sur-Oeste (SO), presentadas en la Figura 10-1. En el resto de los municipios los recorridos se organizan según su ubicación geográfica. Todos ellos se resumen en la Tabla 10-1.

Los RSD recolectados por los camiones contenedores son trasladados directamente al SDF de San José.

Respecto a la tipología de los residuos, la Intendencia se encarga de la gestión de los residuos domiciliarios (RSD), de limpieza y mantenimiento viario, comerciales, agrícolas e industriales de la ciudad. Los RSD objeto del presente estudio, son los únicos recolectados y transportados por camiones contenedores.

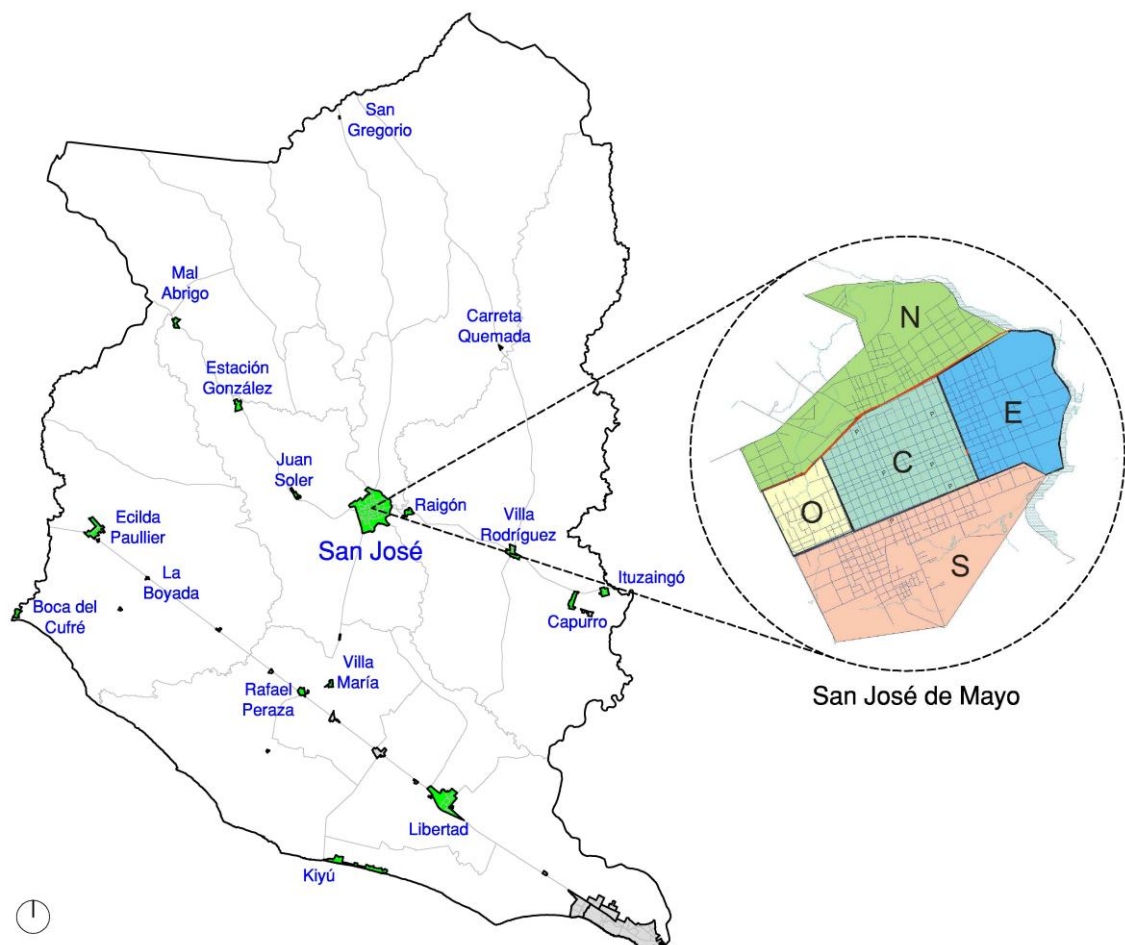


Figura 10-1 Zonas de recogida de la ciudad de San José y su departamento.

Tabla 10-1. Descripción de los circuitos de recolección en los municipios que ingresan en el SDF de San José.

Recorrido	Zona	Frecuencia	Turno
SAN JOSÉ	Zona Centro	L, M, J, V, S	6:00-13:00
	Zona Nor-Este	M, J, S	6:00-18:00
	Zona Sur-Oeste	L, X, V	
OTROS MUNICIPIOS	Libertad	L, X, V	6:00-18:00
	Villa Rodríguez	M, J, S	
	Ecilda Paullier	L, X, V	
	Villa Itzaingó	L, X, V	
	Capurro	L, X, V	
	Juan Soler	L, X, J, V, S	
	La Boyada	M	
	Mal Abrigo	M, J, S	
	Estación González	M, J	
	Carreta Quemada	S	
	Raigón	S	
	Rafael Peraza	L, M, X, J, V, S	
	Kiyú	L, X, V	
	Villa María	M, S	
	San Gregorio	J	
	Boca del Cufre	J	

Los residuos de jardinería y los escombros se recogen con camiones de caja abierta, los cuales no quedan reflejados en los recorridos arriba marcados.

El servicio de recolección de la ciudad de San José cuenta con un circuito limpio para la recogida de residuos específicos de comercios e industria.

En el SDF de San José existen clasificadores, pero no están organizados en cooperativa, aunque la Intendencia sí les ha fijado un horario de trabajo y controla su acceso al SDF.

10.1.2 Sitio de Disposición Final (SDF)

El departamento de San José cuenta con dos Sitios de Disposición Final, uno en Ciudad del Plata y otro en la ciudad de San José de Mayo. En el primero ingresan los RSD de Ciudad del Plata y el 50% del municipio de Libertad; mientras que en el segundo lo hacen los de la capital departamental, el resto de los municipios del departamento, y el 50% restante de Libertad.

Este estudio de caracterización se realizó en el SDF de San José de Mayo, que se encuentra en el camino Paso del Rey al noroeste de la ciudad, a unos 4 km de distancia del núcleo urbano, como se presenta en la Figura 10-2.

El SDF no dispone de balanza para el pesado de los camiones que ingresan, como tampoco se dispone de ninguna referencia de campañas de pesado de camiones contenedores realizado la Intendencia en el pasado.

Aún así, la Intendencia estima que en el SDF de San José de Mayo ingresan un total medio de 60 Toneladas al día de residuos domiciliarios y comerciales de

pequeños generadores, así como los procedentes de la limpieza de basurales endémicos y espontáneos, recogidos por los circuitos de recolección formal. En el SDF de Ciudad del Plata estiman que ingresan una media de 40 Toneladas al día.

Indicar que este ingreso diario de 60 Tn/día supone un ingreso per cápita y por día de 1,08 kg/hab/día. Esta cantidad parece un tanto elevada tratándose de RSD. Decir que en “Información base para el diseño de un Plan Estratégico de residuos sólidos” (CSI Ingenieros, 2011), figura un valor de 50 Tn/día para el SDF de San José.

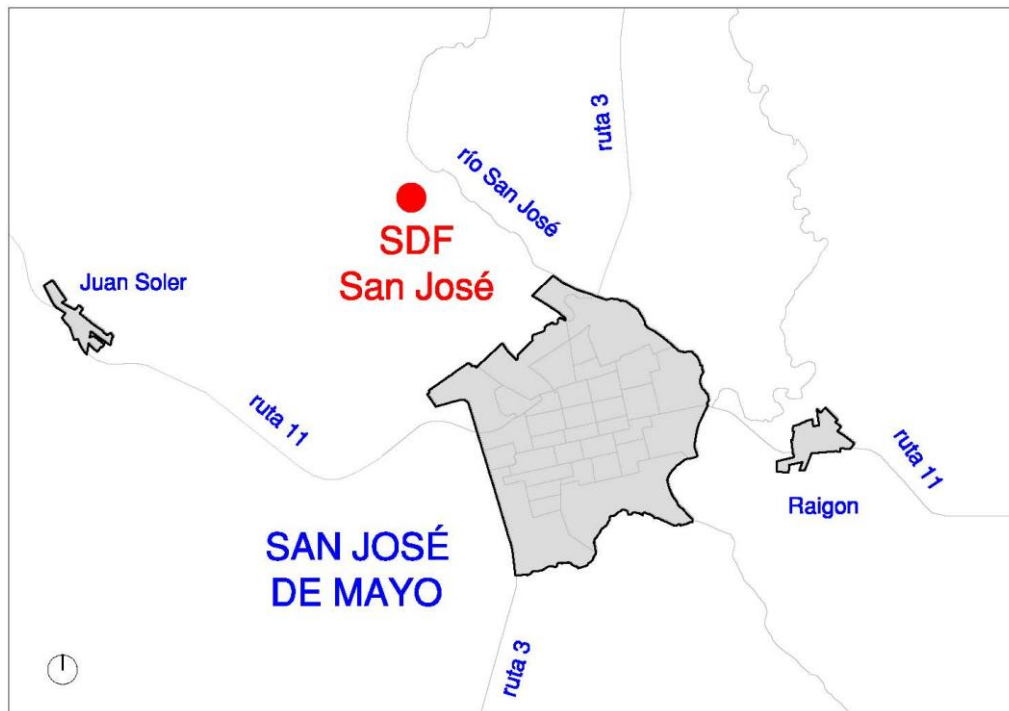


Figura 10-2. Ubicación del SDF de San José.

10.2 Diseño del plan de muestreo

Se ha seguido el procedimiento basado en la Norma ASTM 5231-92 “Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes” y Norma IRAM 29523 “Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo”.

10.2.1 Datos previos de caracterización de los RSU

En este caso, no existen datos para la pre-caracterización de los RSU, por lo que se ha decidido tomar como referencia el plan de muestreo de Canelones. Como antecedente bibliográfico se ha consultado el Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomo I y Tomo II (CSI Ingenieros, 2011).

10.2.2 Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos

Tal y como se ha comentado anteriormente, los recorridos de recolección de RSD en el departamento de San José se realiza según la ubicación geográfica de sus municipios; y en la capital departamental, según las tres zonas ya mostradas en la Figura 10-1 y en la Tabla 10-1.

Para diseñar el plan de muestreo, hay que tener en cuenta los datos

poblacionales analizados más adelante, así como los niveles socioeconómicos que se observan en las distintas zonas de recogida. Para ello, se consultó el estudio que realizó el CEISMU sobre el Índice de Nivel Socioeconómico en el 2012. En él se muestra el reparto de dichos niveles para el conjunto del departamento pero sin ubicarlos geográficamente⁴⁷. Esto supone que no se puedan seleccionar los recorridos de recogida de RSD para que dichos niveles estén representados en el plan de muestreo.

En la Tabla 10-2, se muestran los porcentajes de la población del Departamento de San José según su nivel socioeconómico.

Tabla 10-2. Niveles socioeconómicos del Departamento de San José, según el CEISMU.

Nivel Socioeconómico	%
Bajo-, Bajo+	32 %
Medio-, Medio, Medio+	60 %
Alto-, Alto+	8 %

Ante la falta de datos publicados sobre la distribución geográfica de los niveles socioeconómicos en el departamento, se ha consultado al responsable del sitio para que indicara, según su conocimiento de la zona, el nivel socioeconómico de las diferentes localidades que ingresan en el SDF. Con esta información, se pueden escoger de manera aleatoria los camiones provenientes de las diferentes zonas socioeconómicas, y así poder reflejar el tipo de residuos generado por los diferentes estratos socioeconómicos de San José.

Tabla 10-3. Niveles socioeconómicos de las localidades de San José que ingresan en el SDF, según el responsable del SDF.

Recorrido	Zona	Nivel socioeconómico
SAN JOSÉ	Zona Centro	Medio Alto
	Zona Norte-Este	Medio
	Zona Sur-Oeste	Medio Bajo
OTROS MUNICIPIOS	Libertad	Medio
	Villa Rodríguez	Medio
	Ecilda Paullier	Medio Bajo
	Villa Itzaingó	Bajo
	Capurro	Bajo
	Juan Soler	Bajo
	La Boyada	Bajo
	Mal Abrigo	Bajo
	Estación González	Bajo
	Carreta Quemada	Bajo
	Raigón	Bajo
	Rafael Peraza	Medio
	Kiyú	Medio
	Villa María	Bajo
	San Gregorio	Bajo

⁴⁷ CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)". 2012. Pág. 7.

Recorrido	Zona	Nivel socioeconómico
	Boca del Cufré	Medio

10.2.3 Datos poblacionales

Para determinar el peso específico de cada recorrido dentro del conjunto, es necesario conocer cuál es la población correspondiente a cada uno de ellos. Según los datos del último censo realizado en el año 2011 por INE, cada zona cuenta con un número de habitantes que se muestran en la Tabla 10-5.

10.2.4 Cálculo de número mínimo de muestras necesarias

Los datos de caracterizaciones previas con los que se trabajó, fueron los obtenidos en el departamento de Canelones, dada la similitud de los dos departamentos en cuanto a su condición costera y a que ambos limitan con el departamento de Montevideo. Además, sus SDF son utilizados a nivel departamental, y no únicamente por su capital.

Considerando la materia orgánica, el plástico, y el papel y cartón como los materiales más representativos dentro de la muestra de residuos, y aplicando el método de cálculo indicado en la ASTM 5231-92 que ya se ha detallado anteriormente, se obtiene el número mínimo de muestras necesarias. Considerando un nivel de confianza del 90% y un error de muestreo o nivel de precisión del 10% ($e=0,1$).

Tabla 10-4. Número mínimo de camiones a partir de los datos previos.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t^*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0513	0,1	0,3265	7
2º tanteo	1,8946	0,0513	0,1	0,3265	9
3º tanteo	1,8331	0,0513	0,1	0,3265	8
4º tanteo	1,8595	0,0513	0,1	0,3265	9

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t^*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0238	0,1	0,1801	5
2º tanteo	2,015	0,0238	0,1	0,1801	7
3º tanteo	1,8946	0,0238	0,1	0,1801	6
4º tanteo	1,9432	0,0238	0,1	0,1801	7

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t^*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0122	0,1	0,1381	2
2º tanteo	2,92	0,0122	0,1	0,1381	7
3º tanteo	1,8946	0,0122	0,1	0,1381	3
4º tanteo	2,3534	0,0122	0,1	0,1381	4
5º tanteo	2,1318	0,0122	0,1	0,1381	4

Tras el análisis realizado a partir de la metodología ya expuesta, se llega a la conclusión de que el número mínimo de muestras a tomar son **9 camiones**.

10.2.5 Plan de muestreo

El método de muestreo adoptado es el aleatorio doblemente estratificado, según la población existente en cada una de las zonas de recogida de RSU y su nivel socioeconómico. Establecido esto, la elección de los camiones de cada una de las zonas será aleatoria.

Tras la obtención de todos los datos previos, se procede a diseñar el plan de muestreo tomando como referencia el número de muestras mínimas necesarias calculado anteriormente (9 camiones). Aun así, para poder cubrir la variabilidad del nivel socioeconómico de la población, se ha decidido aumentar el muestreo a **12 muestras vehiculares**, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10-5. Distribución de los camiones según la población de cada recorrido.

Recorrido	Zona	Frecuencia	Nivel	Población INE 2011	%	n s/pob	n s/ pob-recorrido	n s/ pob-nivel
SAN JOSÉ	SJ Centro	L, M, J, V, S	MA	12398	22,32%	2,68	3	3
	SJ Norte-Este	M, J, S	M	12945	23,31%	2,80	3	3
	SJ Sur-Oeste	L, X, V	MB	11400	20,53%	2,46	2	2
OTROS MUNICIPIOS	Libertad	L, X, V	M	5083	9,15%	1,10	4	2
	Villa Rodríguez	M, J, S	M	2604	4,69%	0,56		
	Rafael Peraza	L, M, X, J, V, S	M	1277	2,30%	0,28		
	Kiyú	L, X, V	M	423	0,76%	0,09		
	Boca del Cufré	J	M	28	0,05%	0,01		
	Ecilda Paullier	L, X, V	MB	2585	4,65%	0,56		1
	Villa Ituzaingó	L, X, V	B	771	1,39%	0,17		1
	Capurro	L, X, V	B	517	0,93%	0,11		
	Juan Soler	L, X, J, V, S	B	343	0,62%	0,07		
	La Boyada	M	B	61	0,11%	0,01		
	Mal Abrigo	M, J, S	B	344	0,62%	0,07		
	Estacion Gonzalez	M, J	B	222	0,40%	0,05		
	Carreta Quemada	S	B	92	0,17%	0,02		
	Raigon	S	B	738	1,33%	0,16		
	Villa Maria	M, S	B	620	1,12%	0,13		
	San Gregorio	J	B	35	0,06%	0,01		
	pequeños municipios			3054	5,50%	0,66		
Total				55.540	100%	12	12	12

10.3 Trabajo desarrollado

10.3.1 Muestreo

En el SDF de San José, se vierten tanto residuos domiciliarios como residuos comerciales. La totalidad de las muestras estudiadas pertenecían a residuos domiciliarios de origen residencial, aunque se detectaron residuos procedentes de pequeños comercios.



Figura 10-3 Presencia de desechos comerciales

La campaña de muestreo, realizada durante la tercera semana de marzo, estaba planteada llevarla a cabo en la playa de descarga junto a la zona donde trabajan los clasificadores. Sin embargo, se tuvo que trasladar la operativa hasta un lugar techado por causa de la lluvia.



Figura 10-4 Lugar de caracterización en el SDF de San José.

Ninguno de los recorridos de recolección destinados al SDF de San José realiza la tarea de noche, por lo que todas las muestras se estudiaron por el día y nada más ser descargadas de los camiones recolectores.

Se consideró como universo de muestreo al conjunto de rutas de recolección; y como unidad muestral primaria, el camión recolector, el cual tiene asignada una ruta fija de recolección. La selección del camión recolector fue totalmente aleatoria dentro de cada zona de recolección elegida. En la Tabla siguiente se presenta la comparativa entre la planificación y el muestreo realizado.

Tabla 10-6. Plan de muestreo y muestras realizadas.

Recorrido	Zona	Frecuencia	Nivel	Población INE 2011	%	n s/ pob- nivel	Muestra
SAN JOSÉ	Zona Centro	L, M, J, V, S	MA	12398	22,32%	3	SJ4, SJ6, SJ10
	Zona Nor-Este	M, J, S	M	12945	23,31%	3	SJ5, SJ8
	Zona Sur-Oeste	L, X, V	MB	11400	20,53%	2	SJ3, SJ11, SJ12
OTROS MUNICIPIOS	Libertad	L, X, V	M	5083	9,15%	2	
	Villa Rodríguez	M, J, S	M	2604	4,69%		SJ7
	Rafael Peraza	L, M, X, J, V, S	M	1277	2,30%		
	Kiyú	L, X, V	M	423	0,76%		SJ1
	Boca del Cufre	J	M	28	0,05%		
	Ecilda Paullier	L, X, V	MB	2585	4,65%	1	SJ2
	Villa Ituzaingó	L, X, V	B	771	1,39%	1	
	Capurro	L, X, V	B	517	0,93%		
	Juan Soler	L, X, J, V, S	B	343	0,62%		
	La Boyada	M	B	61	0,11%		
	Mal Abrigo	M, J, S	B	344	0,62%		
	Estacion Gonzalez	M, J	B	222	0,40%		SJ9
	Carreta Quemada	S	B	92	0,17%		
	Raigon	S	B	738	1,33%		
	Villa Maria	M, S	B	620	1,12%		
	San Gregorio	J	B	35	0,06%		
	pequeños municipios			3054	5,50%		
Total				55.540	100%	12	12

10.3.2 Corrección por finos

Una vez definida la composición de los residuos sólidos domiciliarios del departamento de San José, se procedió a corregir las fracciones finas para repartirlas en las diferentes fracciones en las que se ha considerado clasificar los RSD.

La metodología adoptada en este caso fue asumir que los residuos que pasaron a través de la malla presentan la misma composición porcentual en peso que los residuos de mayor tamaño que fueron segregados. Sin embargo, se hicieron algunas hipótesis básicas tales como no considerar dentro del material fino los residuos correspondientes a algunas fracciones que por su tamaño no pudieron atravesar la malla (p.ej. pañales, botellas de plástico, etc.).

Tabla 10-7. Corrección por finos.

Concepto	SJ1			SJ2			SJ3		
Total finos	8%			9%			11%		
papel y cartón	12,49%	19,68%	1,66%	5,91%	9,92%	0,88%	7,83%	13,12%	1,46%
metales	3,55%	5,59%	0,47%	2,49%	4,18%	0,37%	2,63%	4,41%	0,49%
vidrios	2,47%	3,90%	0,33%	0,92%	1,54%	0,14%	2,18%	3,66%	0,41%
materia orgánica	34,95%	55,07%	4,65%	40,29%	67,59%	6,01%	37,02%	62,05%	6,88%
inertes pétreos	10,00%	15,76%	1,33%	10,00%	16,77%	1,49%	10,00%	16,76%	1,86%
Total	63,46%	100,00%	8%	59,61%	100,00%	9%	59,66%	100,00%	11%

Concepto	SJ4			SJ5			SJ6		
Total finos	9%			14%			7%		
papel y cartón	16,07%	24,21%	2,13%	8,22%	17,21%	2,35%	16,30%	23,94%	1,69%
metales	1,91%	2,88%	0,25%	2,17%	4,55%	0,62%	1,63%	2,39%	0,17%
vidrios	2,64%	3,97%	0,35%	1,38%	2,89%	0,39%	3,05%	4,48%	0,32%
materia orgánica	35,77%	53,88%	4,73%	25,97%	54,40%	7,44%	37,13%	54,52%	3,84%
inertes pétreos	10,00%	15,06%	1,32%	10,00%	20,95%	2,87%	10,00%	14,68%	1,03%
Total	66,39%	100,00%	9%	47,74%	100,00%	14%	68,11%	100,00%	7%

Concepto	SJ7			SJ8			SJ9		
Total finos	11%			16%			9%		
papel y cartón	10,68%	18,07%	1,96%	10,00%	17,75%	2,88%	13,85%	23,72%	2,06%
metales	2,85%	4,82%	0,52%	2,18%	3,87%	0,63%	2,34%	4,01%	0,35%
vidrios	2,59%	4,39%	0,48%	1,89%	3,36%	0,55%	3,92%	6,72%	0,59%
materia orgánica	32,96%	55,79%	6,06%	32,25%	57,26%	9,29%	28,27%	48,42%	4,22%
inertes pétreos	10,00%	16,93%	1,84%	10,00%	17,76%	2,88%	10,00%	17,13%	1,49%
Total	59,08%	100,00%	11%	56,32%	100,00%	16%	58,39%	100,00%	9%

Concepto	SJ10			SJ11			SJ12		
Total finos	7%			8%			9%		
papel y cartón	12,83%	19,31%	1,34%	9,53%	15,11%	1,20%	8,03%	12,07%	1,04%
metales	1,04%	1,56%	0,11%	1,41%	2,24%	0,18%	2,27%	3,42%	0,29%
vidrios	2,37%	3,57%	0,25%	1,58%	2,51%	0,20%	1,92%	2,88%	0,25%
materia orgánica	40,22%	60,51%	4,20%	40,56%	64,29%	5,12%	44,25%	66,57%	5,73%
inertes pétreos	10,00%	15,05%	1,04%	10,00%	15,85%	1,26%	10,00%	15,04%	1,30%
Total	66,46%	100,00%	7%	63,09%	100,00%	8%	66,47%	100,00%	9%

10.3.3 Determinación de la composición física de los RSD

En la Tabla 10-8 se indica la Composición Física obtenida para cada una de las muestras caracterizadas.

A su vez, en la Tabla 10-9 y en la Figura 10-5 se presentan la composición promedio obtenida de los RSD.

Tabla 10-8. Resultados de la caracterización de las muestras.

Material	SJ1	SJ2	SJ3	SJ4	SJ5	SJ6	SJ7	SJ8	SJ9	SJ10	SJ11	SJ12
Papel y Cartón	14%	7%	9%	18%	11%	18%	13%	13%	16%	14%	11%	9%
Pañales y apósitos	3%	9%	4%	4%	10%	5%	8%	6%	7%	5%	7%	5%
Multilaminados (Tetrabrik)	1%	1%	0,5%	1%	0,3%	1%	0,3%	1%	1%	1%	1%	0,4%
Metales	4%	3%	3%	2%	3%	2%	3%	3%	3%	1%	2%	3%
Plásticos Film	15%	12%	13%	14%	12%	12%	9%	13%	17%	12%	11%	12%
Plásticos Botellas	3%	2%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Plásticos Otros	6%	8%	5%	5%	6%	5%	5%	6%	7%	4%	4%	5%
Vidrio	3%	1%	3%	3%	2%	3%	3%	2%	5%	3%	2%	2%
Textiles	2%	2%	4%	1%	11%	3%	2%	4%	3%	2%	3%	2%
Materia Orgánica	40%	46%	44%	41%	33%	41%	39%	42%	32%	44%	46%	50%
Goma, Cuero, Corcho	2%	1%	3%	0,1%	2%	0,4%	3%	1%	1%	1%	2%	1%
Madera y jardinería	5%	5%	4%	3%	3%	5%	9%	4%	2%	5%	7%	5%
Escombros	1%	1%	0,2%	2%	1%	1%	0,4%	0,5%	1%	2%	0,2%	1%
Materiales Compuestos	0,2%	1%	1%	0,3%	0,1%	1%	0,3%	0,2%	1%	0,2%	0,3%	1%
Residuos Peligrosos	0,1%	0,4%	0,1%	1%	0,2%	0,3%	0,2%	0,1%	1%	0,1%	0,1%	0,4%
Inertes Pétreos	2%	2%	2%	2%	3%	2%	2%	3%	2%	2%	2%	2%

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

Tabla 10-9. Medias y desviaciones estándar de los componentes estudiados.

Material	Media	Intervalo de confianza	
Papel y Cartón	12,84%	6%	20%
Pañales y apósitos	6,11%	2%	10%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,60%	0%	1%
Metales	2,61%	1%	4%
Plásticos Film	12,92%	9%	17%
Plásticos Botellas	2,35%	1%	3%
Plásticos Otros	5,24%	3%	7%
Vidrio	2,45%	1%	4%
Textiles	2,70%	0%	8%
Materia Orgánica	41,94%	32%	51%
Goma, Cuero, Corcho	1,49%	0%	3%
Madera y jardinería	4,96%	1%	9%

Material	Media	Intervalo de confianza	
Escombros	0,92%	0%	2%
Materiales Compuestos	0,44%	0%	1%
Residuos Peligrosos	0,30%	0%	1%
Inertes Pétreos	2,13%	1%	3%

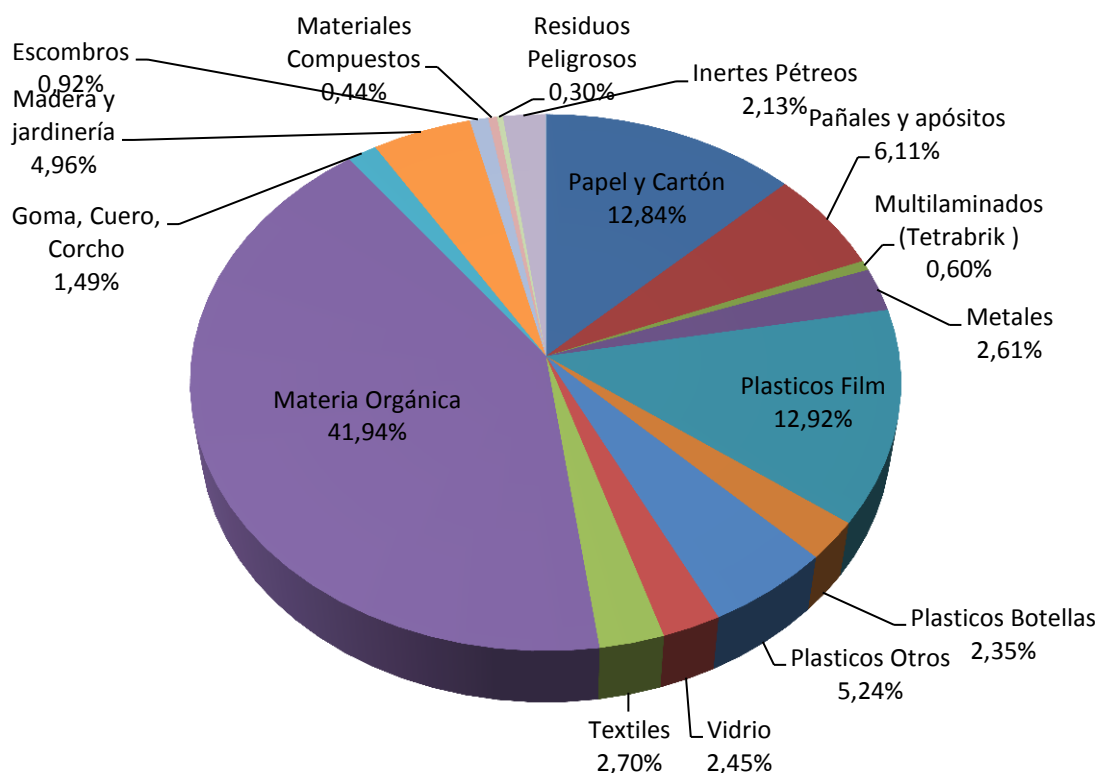


Figura 10-5 Composición física de los RSD de las muestras tomadas.

10.3.4 Determinación de la Densidad Aparente

Durante el trabajo campo, se determinaron las densidades aparentes de cada una de las unidades muestrales. En la siguiente Tabla 6-12 se presentan los resultados de la densidad aparente de cada una de las muestras así como la media de las mismas.

Tabla 10-10. Densidad aparente de las muestras.

Muestra	SJ1	SJ2	SJ3	SJ4	SJ5	SJ6	SJ7	SJ8	SJ9	SJ10	SJ11	SJ12	Media
Densidad Aparente (kg/m3)	142,3	163,8	163,8	157,7	268,5	212,3	194,6	275,4	289,2	173,1	263,1	405,4	209,4

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

10.3.5 Determinación del Poder Calorífico Teórico

Se realiza la estimación teórica del contenido energético del RSD que ingresa en el SDF de San José. Para ello en la tabla siguiente se presentan los poderes

caloríficos en base seca de las fracciones de residuos de las diferentes fuentes consultadas.

Tabla 10-11 Poderes caloríficos en base seca de las distintas fracciones de residuos de las fuentes consultadas.

Material	Porcentaje en peso humedo	Intervalo ⁴⁸ PCI (kJ/kg)	Intervalo ⁴⁸ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁴⁹ (kCal/kg)	PCI medio ⁵⁰ (kCal/kg)
Papel y Cartón	12,84%	11.630 - 18.608	2.780 – 4.448	3.614	3.780
Pañales y apósitos	6,11%	9.811	1.223 – 2.224	1.723	1.223
Multilaminados (Tetrabrik)	0,60%	13.956 - 20.934	3.336 – 5.003	4.170	4.170
Metales	2,61%				
Plásticos Film	12,92%	27.913 – 44.195	6.671 – 10.563	8.617	7.839
Plásticos Botellas	2,35%				
Plásticos Otros	5,24%				
Vidrio	2,45%				
Textiles	2,70%	15.119 – 18.608	3.614 – 4.448	4.031	4.425
Materia Orgánica	41,94%	3.489 – 6.978	834 – 1.668	1.251	999
Goma, Cuero, Corcho	1,49%	15.119 – 19.771	3.614 – 4.725	4.170	5.112
Madera y jardinería	4,96%	2.326 – 18.608	556 – 4.448	2.502	3.691
Escombros	0,92%				
Materiales Compuestos	0,44%	9.304 – 11.630	2.224 – 2.780	2.502	2.557
Residuos Peligrosos	0,30%				
Inertes pétreos	2,13%				
PCI TOTAL SIN CORREGIR (kCal/kg)			2.358 – 4.026	3.192	3.001
PCI TOTAL SIN CORREGIR (kJ/kg)			9.866 – 16.843	13.354	12.558

Estos valores de los PCI teóricos son considerando Muestra Seca. Por tanto, es necesario corregir este valor restando el calor necesario para evaporar la humedad de la muestra en la combustión. La humedad media de la muestra considerada es la obtenida en laboratorio para la muestra de Montevideo que fue del 42,97 %.

Por tanto, se corrigen estos valores mediante:

⁴⁸ Valores de PCI estimados en Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous. Pág. 13-7.

⁴⁹ Valores de PCI correspondientes a la media de los intervalos estimados para las diferentes fracciones en Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous. Pág. 13-7.

⁵⁰ Valores de PCI utilizados en “Estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de capacidad de generación de energía a partir de residuos en Uruguay”. Themelis Associates, 2012. Pág.42. Tomados del Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous.

$$PCI_{muestra} = \left[\sum PCI_{fracción} * porcentaje_{en\ peso} \right] - 539 * porcentaje_{humedad}$$

siendo el calor necesario para evaporar la humedad de la muestra en la combustión de 539 kCal/kg.

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 10-12. Poder Calorífico Inferior de los RSD de Canelones calculado teóricamente en base a la composición obtenida en campo.

	Intervalo ⁷ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁸ (kCal/kg)	PCI medio ⁹ (kCal/kg)
PCI TOTAL CORREGIDO (kCal/kg)	2.126 – 3.794	2.960	2.770
PCI TOTAL CORREGIDO (kJ/kg)	8.897 – 15.874	12.385	11.589

Se observa que el valor obtenido de PCI teórico oscilaría entre los valores 2.126 kCal/kg y 3.794 kCal/kg.

Cabe señalar, al igual que ocurrió en el caso de Montevideo (Informe 1), que el calculo anterior es una aproximación puesto que realmente el cálculo del PCI de la muestra si contiene humedad debería ser:

$$PCI_{muestra} = \left[\sum PCI_{fracción} * (porcentaje_{en\ peso\ seco}) \right] - 539 * porcentaje_{humedad}$$

pero esto obliga a conocer los porcentajes en peso de las fracciones secas. O lo que es lo mismo, conocer los valores medios de humedad de cada una de las fracciones.

A modo de aproximación, y tomando los valores extremos de los intervalos de humedad y los valores extremos de los valores de PCI de cada una de las fracciones que aparecen en el Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous, se obtendría que el poder calorífico oscilaría:

- su valor mínimo oscilaría entre 1.652,02 kCal/kg y 1.882,38 kCal/kg
- su valor máximo oscilaría entre 2.777,19 kCal/kg y 3.279,46 kCal/kg

En el caso de que se tomen los valores extremos de los intervalos de humedad pero fijando los PCI de las fracciones en su valor medio, se obtiene que el poder calorífico teórico de la muestra oscilaría entre entre 2.214,60 kCal/kg y 2.580,92 kCal/kg.

10.3.6 Validación del número de muestras vehiculares

Con los valores obtenidos de la composición física, se efectúa la validación del número de muestras. Esto es, se debe comprobar si el número de muestras obtenido es suficiente para extrapolar los resultados a la población con un determinado margen de error. Para ello, se vuelve a determinar el número mínimo de muestras necesarias para conseguir la representatividad, pero esta vez

utilizando los valores promedio y de desviación típica obtenidos en el muestreo realizado.

Por tanto, aplicando de nuevo la fórmula para la determinación del número de muestras propuesta por la ASTM D5231-92, se obtienen los siguientes datos que confirman la validez de los 9 camiones mínimos a muestrear.

Tabla 10-13. Cálculo del número mínimo de muestras tomando los datos obtenidos en el muestreo.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0487	0,1	0,419	4
2º tanteo	2,1318	0,0487	0,1	0,419	6
3º tanteo	1,9432	0,0487	0,1	0,419	5
4º tanteo	2,015	0,0487	0,1	0,419	5

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0343	0,2	0,128	5
2º tanteo	2,015	0,0343	0,2	0,128	7
3º tanteo	1,8946	0,0343	0,2	0,128	6
4º tanteo	1,9432	0,0343	0,2	0,128	7

Nº muestras Plástico Film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0191	0,1	0,129	6
2º tanteo	1,9432	0,0191	0,1	0,129	8
3º tanteo	1,8595	0,0191	0,1	0,129	8

Se observa que la validación del método da un número de muestras inferior al número de muestras realizado (12). En este caso, el método se ha validado con un error de muestreo o precisión (e) del 10% para las fracciones de la materia orgánica y del plástico film, y del 20% para la del papel y el cartón.

10.4 Discusión de los resultados

10.4.1 Composición Física de los residuos

A modo ilustrativo, a continuación se comparan los valores promedio de composición física obtenidos en San José con la composición física de los residuos de varios lugares de América del Sur.

Tabla 10-14. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	San José Muestreo 2013	Fichtner- LKSur 2004 ⁵¹	Buenos Aires 2009 ⁵²	Santiago Chile 2006 ⁵³	Salvador Bahía 2010 ⁵⁴
Papel y Cartón	12,84%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	6,11%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,60%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	2,61%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	12,92%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	2,35%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	5,24%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	2,45%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	2,70%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	41,94%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	1,49%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	4,96%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	0,92%		2,20%		
Materiales Compuestos	0,44%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,30%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	2,13%		1,16%		

Los desechos alimenticios es el primer componente con el 41,94% en peso, que junto con la Madera y jardinería (4,96%), se obtiene la fracción putrescible total con un 46,90%.

Los residuos plásticos son el segundo componente más numeroso, con el 20,51%, muy similar a Buenos Aires (19,69%). Valor muy elevado si se compara

⁵¹ FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

⁵² Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

⁵³ ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

⁵⁴ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

con valores de países europeos desarrollados (7% - 10%). Debido sobre todo al enorme contenido en bolsas de plástico.

El tercer componente en abundancia son el papel y cartón (12,84%).

Como viene siendo generalizado, se ha detectado cantidades relativamente altas de tierras; 2,13% restos de jardinería y pasto.

El porcentaje en pañales y apósitos es del 6,11%, tan abundante como en otras ciudades, como Salvador de Bahía. Su contenido está muy relacionado con el nivel de natalidad de la zona estudiada.

10.4.2 Densidad Aparente

Los valores de densidad son totalmente esperables a lo que correspondería una muestra de RSD sin compactar. Estos oscilan entre 163,80 kg/m³ - 289,20 kg/m³, con un promedio de 209,40 kg/m³.

Valores promedio en algunas ciudades son: Buenos Aires 184,51 kg/m³⁵⁵, Santiago de Chile 231,20 kg/m³⁵⁶, Salvador de Bahía 228,11 kg/m³⁵⁷.

10.4.3 Poder Calorífico Teórico

El Poder Calorífico Inferior (PCI) de San José se estimó de forma teórica, suponiendo que el valor de humedad era el mismo que el obtenido en laboratorio para Montevideo (42,97%). La comparativa con los valores obtenidos en Canelones y Montevideo, se muestran en la siguiente Tabla 10-15.

Tabla 10-15. Comparativa del Poder Calorífico Inferior teórico de los RSD de San José con el PCI de Canelones y Montevideo.

PCI (kCal/kg)	SAN JOSE	CANELONES	MONTEVIDEO
PCI Real muestra	No determinado	No determinado	2.180
Intervalo teórico PCI ⁷	2.126 – 3.794	2.176 – 3.784	1.904 – 3.352
PCI medio Teórico ⁸	2.960	2.980	2.628
PCI medio Teórico ⁹	2.770	2.815	2.457
Intervalo teórico PCI (fraccion seca)	2.215 - 2.581	2.314 - 2.653	1.979 – 2.286

De los datos se desprende que el PCI de los RSD que ingresan en San José es similar al PCI de Canelones y tiene un valor superior al de Montevideo. Esto se debe a que a pesar de tener un contenido en Materia Orgánica similar a Montevideo, la reducción en el valor del PCI provocado por la Materia Orgánica es contrarrestado por el aumento de PCI que le aportan los textiles y los plásticos.

Si realizamos la comparativa con valores en otros países a modo orientativo tenemos⁵⁸: USA (2.220 kCal/kg), Inglaterra (1.950 kCal/kg), Francia (1.560

⁵⁵ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

⁵⁶ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

⁵⁷ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

⁵⁸ HARINDRA, Joseph Fernando. "Handbook of Environmental Control", CRC, 2012.

kCal/kg) y Suecia (2.390 kCal/kg).

11 SDF TACUAREMBÓ, TACUAREMBÓ

11.1 Área de Estudio

11.1.1 Gestión de residuos en Tacuarembó

La Intendencia de Tacuarembó gestiona los residuos domiciliarios, de limpieza y mantenimiento viario, comerciales, agrícolas e industriales de la ciudad y barrios periféricos. Los residuos de jardinería, escombros y voluminosos se retiran de la calle y se depositan en el SDF de Tacuarembó.

El SDF de Tacuarembó sólo gestiona los residuos de la ciudad, de forma que, el resto de municipios del departamento se encargan de su propia gestión de residuos.

En la ciudad de Tacuarembó, la recolección de RSU se organiza básicamente en 3 zonas: zona centro, en horario nocturno; barrio Etcheverry, en horario matutino; y el resto de barrios periféricos, también en horario matutino. Los residuos recolectados son derivados mediante camiones contenedores (compactadores) directamente al Sitio de Disposición Final de Tacuarembó.

La Intendencia no contaba con un plano donde se definieran los recorridos de los camiones recolectores, por lo que durante la campaña de muestreo se realizó uno junto con los responsables de la Intendencia. A continuación se muestra el citado plano.



Figura 11-1. Zonas de recogida de la ciudad de Tacuarembó.

Tabla 11-1. Días y turnos de los recorridos de recolección.

Zona	Id	Días recogida	Horario
Centro		L, M, X, J, V, S	18:00 a 00:00
Etcheverry		L, M, X, J, V	5:00 a 12:00
Periferia		L, X, V	5:00 a 12:00
		M, J, S	
		L, M, X, J, V, S	

Los residuos de jardinería y los escombros se recogen con camiones de caja abierta, los cuales no se reflejan en los recorridos arriba marcados.

El servicio de recolección de la ciudad de Tacuarembó cuenta con un circuito limpio para la recogida de residuos específicos de comercios e industria.

11.1.2 Sitio de Disposición Final (SDF)

La ciudad de Tacuarembó cuenta con un único Sitio de Disposición Final (SDF), situado en el ángulo formado por la Ruta 5 y la Ruta 26, a 6km del centro, y es donde se realizó el presente estudio de caracterización, presentado en la



Figura 11-2.

El vertedero no dispone de balanza para el pesado de los camiones que ingresan. No obstante, la Intendencia realizó una campaña de pesado de los camiones contenedores durante 10 días en abril de 2012. De acuerdo con estos datos, durante esa campaña de pesado se ingresaron una media diaria de **33,61 Toneladas al día de residuos domiciliarios y comerciales de pequeños generadores**, que se recogen por los circuitos de recogida formales. Oficialmente, estas toneladas no incluyen los residuos de jardinería que son canalizados por un servicio específico para estos residuos.

Sin embargo, aparece una cantidad considerable de este tipo de residuos debido a que la población los vierte a los contenedores convencionales.

La medición de las toneladas de residuos indicada, tampoco contempla los escombros, que son transportados por particulares o empresas. Los residuos industriales y comerciales, que son trasladados por sus generadores hasta el sitio de disposición final, también quedan excluidos, así como los residuos recogidos por

el servicio limpio.

En el SDF de Tacuarembó, existen clasificadores trabajando de manera informal, sin estar organizados en cooperativas como sucede en otras localidades.



Figura 11-2. Ubicación del SDF de Tacuarembó.

11.2 Diseño del plan de muestreo

Se ha seguido el procedimiento basado en la Norma ASTM 5231-92 "Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes" y Norma IRAM 29523 "Determinación de la composición de RSU sin tratamiento previo".

11.2.1 Datos previos de caracterización de los RSU

La pre-caracterización de los RSU se ha realizado recopilando y consultando los antecedentes bibliográficos existentes disponibles, siendo:

- 1.- Datos de la campaña de pesado de camiones desarrollada por la Intendencia durante 10 días (desde el 11 al 21 de abril de 2012, ambos inclusive, excepto el 15).
- 2.- Tres composiciones físicas de RSD obtenidas en el muestreo realizado por Intendencia, de 3 camiones procedentes del Barrio Ferrocarril, Centro y Barrio Montevideo, los días de 23, 25 y 27 de abril de 2012 respectivamente.
- 3.- Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomo I y Tomo II (CSI Ingenieros, 2011).

11.2.2 Datos de las zonas de recogida y niveles socioeconómicos

Para diseñar un plan de muestreo aleatorio doblemente estratificado, además de tener en cuenta los datos poblacionales en estas zonas de recogida (Figura 11-1, y

Tabla 11-1), deben conocerse sus correspondientes niveles socioeconómicos.

Para ello, se consultó el estudio del CEISMU sobre el Índice de Nivel Socioeconómico en el 2012, pero únicamente menciona los porcentajes de dichos niveles para el conjunto del departamento de Tacuarembó (ver Tabla 9-2) sin situarlos geográficamente⁵⁹. Tampoco muestra información sobre los niveles socioeconómicos en la ciudad, que es de donde proceden los RSD que ingresan en el SDF. Por tanto, la información del CEISMU no será de utilidad, puesto que no es posible seleccionar los recorridos de recogida de RSD correspondientes a dichos niveles, para poder representarlos en el plan de muestreo.

Tabla 11-2. Porcentajes de población en todo el Departamento de Tacuarembó según su nivel socioeconómico (CEISMU, 2012).

Nivel Socioeconómico	%
Bajo-, Bajo+	46 %
Medio-, Medio, Medio+	46%
Alto-, Alto+	8 %

Dado que no se pudieron conseguir datos sobre la distribución de los niveles socioeconómicos de la ciudad por otras fuentes bibliográficas, se recurrió al personal de la Intendencia, pero tampoco se obtuvo información suficiente.

11.2.3 Datos poblacionales

Para determinar el peso específico de cada recorrido dentro del conjunto, es necesario conocer cuál es la población correspondiente a cada uno de ellos. Según los datos del último censo realizado en el año 2011 por el INE, cada zona cuenta con un número de habitantes que se muestran en la Tabla 11-5.

11.2.4 Cálculo de número mínimo de muestras necesarias

Los datos de caracterizaciones previas con los que se trabajó fueron los facilitados por la Intendencia, tal y como se ha comentado.

Considerando la materia orgánica, el plástico, y el papel y cartón como los materiales más representativos dentro de la muestra de residuos, se obtienen los datos de la siguiente tabla.

Tabla 11-3. Datos previos de muestreos realizados en la ciudad de Tacuarembó.

Material	Barrio Ferrocarril ⁶⁰	Barrio Centro ⁶⁰	Barrio Montevideo ⁶⁰	Media X	Desviación e
Mat. Orgánica	53,03	55,09	64,65	57,59	5,06
Papel y cartón	20,64	10,28	9,92	13,61	4,97
Plásticos	17,29	19,85	18,18	18,44	1,06

Hay que señalar que la fracción de Materia Orgánica incluye los desechos alimenticios y los restos de jardinería, por eso aparecen valores tan altos.

Con estos datos y mediante el método de cálculo indicado en la ASTM 5231-92 que ya se ha detallado anteriormente, se obtiene el número mínimo de muestras necesarias. Considerando un nivel de confianza del 90% y un error de

⁵⁹ CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)". 2012. Pág. 7.

⁶⁰ Intendencia de Tacuarembó. "Caracterización de residuos sólidos". Abril 2012.

muestreo o nivel de precisión del 20% ($e=0,2$).

Tabla 11-4. Número mínimo de muestras necesarias en Tacuarembó.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0506	0,2	0,5759	1
2º tanteo	6,3137	0,0506	0,2	0,5759	8
3º tanteo	1,8595	0,0506	0,2	0,5759	1

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. Estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0497	0,2	0,1361	9
2º tanteo	1,8331	0,0497	0,2	0,1361	11
3º tanteo	1,7959	0,0497	0,2	0,1361	11

Nº muestras Plástico	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0106	0,2	0,1844	0
2º tanteo	6,3137	0,0106	0,2	0,1844	3
3º tanteo	2,3534	0,0106	0,2	0,1844	0

Tras el análisis realizado a partir de la metodología ya expuesta, se llega a la conclusión de que el número mínimo de muestras a tomar debe ser **11 camiones**.

11.2.5 Plan de muestreo

Como se ha comentado anteriormente, la falta de información detallada respecto a la distribución geográfica de los niveles socioeconómicos presentes en la ciudad, imposibilita diseñar un plan de muestreo en el que se pueda relacionar los recorridos de recolección con los diferentes estratos.

Por tanto, el plan de muestreo se diseñó considerando dos zonas bien diferenciadas: una zona centro, con un nivel Medio-Alto y actividad comercial; y una zona que incluía el barrio Etcheverry y el resto de los barrios periféricos, con un nivel socioeconómico global Medio.

La distribución del número de muestras, según los porcentajes de población, se indican en la Tabla 11-5.

Tabla 11-5. Distribución de los camiones según la población de cada recorrido.

Zona	Id	Turno	Población INE 2011	%	n s/población
Centro		18:00 a 12:00	12.600	23,01%	3
Etcheverry		5:00 a 12:00	5.881	10,74%	1
Periferia		5:00 a 12:00	36.274	66,25%	7
Total			54.755	100,00%	11

11.3 Trabajo desarrollado

11.3.1 Muestreo

Como universo de muestreo se consideró el conjunto de rutas de recolección. Siendo la unidad muestral primaria, el camión recolector, el cual tiene asignada una ruta fija de recolección. La selección del camión recolector fue totalmente aleatoria dentro de una zona de recolección elegida.

En el SDF de Tacuarembó se vierten tanto residuos domiciliarios, como residuos comerciales. Parte de los residuos de la construcción y demolición también se consideran RSU, no obstante, su cauce de eliminación a SDF no suele ser a través de los camiones contenedores de recogida municipal. Todas las muestras estudiadas pertenecían a residuos domiciliarios de origen residencial, aunque se detectaron residuos procedentes de pequeños comercios.

Los camiones que cargan los residuos de la zona centro de Tacuarembó, acaban descargando por la noche en el SDF, por lo que la opción más segura para poder muestrear estos camiones, pasaba por guardar dichos residuos sobre una lona de plástico durante toda la noche y caracterizarlos la mañana siguiente.

En la campaña de muestreo, llevada a cabo durante la primera semana de febrero, la presencia de clasificadores en lugar de trabajo era continua y numerosa (ver Figura 11-3) y no era de esperar que respetasen intacta la basura durante toda la noche. Tampoco se recomendaba realizar el muestreo por la noche por cuestiones de seguridad, así que se desestimó la opción de estudiar los residuos del centro.



Figura 11-3. Clasificadores trabajando en el SDF de Tacuarembó.

Además, algunos camiones diurnos tampoco pudieron muestrearse, puesto que uno fue abordado en el momento de su descarga por clasificadores no autorizados, y otro descargó en el frente de descarga del SDF, y no sobre la lona preparada en la zona donde se realizaba el muestreo.

Estos hechos han supuesto que el plan de muestreo no haya podido cumplirse según lo esperado, y que el estudio haya resultado bastante problemático y

posiblemente, con resultados sesgados. En la Tabla 11-6 se presenta la comparación entre la planificación y las muestras tomadas.

Tabla 11-6. Plan de muestreo y muestras tomadas.

Zona	Turno	Población INE 2011	%	n s/población	Muestra
Centro	Nocturno	12.600	23,01%	3	
Etcheverry	Matutino	5.881	10,74%	1	T1
Periferia	Matutino	36.274	66,25%	7	T2, T3, T4, T5, T6, T7
Total		54.755	100,00%	11	7

11.3.2 Corrección por finos

Una vez definida la composición de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Tacuarembó, se procedió a corregir las fracciones finas para repartirlas en las diferentes fracciones en las que se ha considerado clasificar los RSD.

La metodología adoptada en este caso fue asumir que los residuos que pasaron a través de la malla presentan la misma composición porcentual en peso que los residuos de mayor tamaño que fueron segregados. Sin embargo, se hicieron algunas hipótesis básicas tales como no considerar dentro del material fino los residuos correspondientes a algunas fracciones que por su tamaño no pudieron atravesar la malla (p.ej. pañales, botellas de plástico, etc.).

Tabla 11-7. Corrección por finos.

Concepto	T1			T2			T3		
Total finos	14%			22%			14%		
papel y cartón	11,29%	18,65%	2,55%	8,37%	16,19%	3,64%	16,60%	26,84%	3,67%
metales	2,61%	4,32%	0,59%	4,69%	9,09%	2,04%	3,18%	5,13%	0,70%
vidrios	2,37%	3,92%	0,54%	1,10%	2,12%	0,48%	1,22%	1,97%	0,27%
materia orgánica	34,25%	56,59%	7,75%	27,50%	53,24%	11,96%	30,86%	49,89%	6,83%
inertes pétreos	10,00%	16,52%	2,26%	10,00%	19,36%	4,35%	10,00%	16,17%	2,21%
Total	60,52%	100,00%	14%	51,66%	100,00%	22%	61,86%	100,00%	14%

Concepto	T4			T5		
Total finos	29%			18%		
papel y cartón	6,85%	12,59%	3,64%	9,84%	15,48%	2,71%
metales	2,56%	4,70%	1,36%	2,33%	3,66%	0,64%
vidrios	1,49%	2,73%	0,79%	2,13%	3,35%	0,59%
materia orgánica	33,53%	61,60%	17,80%	39,26%	61,78%	10,81%
inertes pétreos	10,00%	18,37%	5,31%	10,00%	15,74%	2,75%
Total	54,43%	100,00%	29%	63,55%	100,00%	18%

Concepto	T6			T7		
Total finos	16%			22%		
papel y cartón	7,93%	16,20%	2,54%	13,23%	24,07%	5,39%
metales	2,36%	4,82%	0,76%	2,68%	4,87%	1,09%
vidrios	2,59%	5,29%	0,83%	1,58%	2,87%	0,64%
materia orgánica	26,09%	53,27%	8,37%	27,49%	50,00%	11,19%
inertes pétreos	10,00%	20,42%	3,21%	10,00%	18,19%	4,07%
Total	48,97%	100,00%	16%	54,97%	100,00%	22%

11.3.3 Determinación de la composición física de los RSD

En la Tabla 11-8 se muestra la Composición Física obtenida para cada una de las muestras caracterizadas.

A su vez, en la Tabla 11-9 y en la Figura 11-4 se presentan la composición promedio obtenida de los RSD.

Tabla 11-8. Resultados de la caracterización de las muestras.

Material	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Papel y Cartón	14%	12%	20%	9%	13%	10%	19%
Pañales y apósitos	5%	7%	5%	3%	3%	13%	2%
Multilaminados (Tetrabrik)	1%	0,5%	0,3%	1%	1%	1%	1%
Metales	3%	7%	4%	4%	3%	3%	4%
Plásticos Film	13%	12%	14%	10%	12%	12%	13%
Plásticos Botellas	3%	1%	1%	1%	2%	3%	2%
Plásticos Otros	3%	2%	2%	2%	3%	3%	3%
Vidrio	3%	2%	1%	2%	3%	3%	2%
Textiles	4%	4%	2%	2%	4%	4%	4%
Materia Orgánica	42%	39%	38%	51%	50%	34%	39%
Goma, Cuero, Corcho	2%	2%	1%	2%	0,2%	3%	2%
Madera y jardinería	4%	7%	5%	2%	1%	3%	5%
Escombros	0,2%	0%	4%	3%	1%	3%	0,1%
Materiales Compuestos	0,1%	0%	0%	1%	1%	0%	1%
Residuos Peligrosos	0,2%	0%	0%	0,2%	0,3%	0,2%	0,3%
Inertes Pétreos	3%	5%	3%	5%	3%	4%	4%

Nota: Los valores marcados en gris no fueron tenidos en cuenta para el cálculo de la media ya que se encuentran fuera del intervalo de confianza.

Tabla 11-9. Medias y desviaciones estándar de los componentes estudiados.

Material	Media	Intervalo de confianza	
Papel y Cartón	14,10%	7%	21%
Pañales y apósitos	5,54%	0%	13%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,62%	0%	1%
Metales	3,49%	2%	6%
Plásticos Film	12,43%	10%	15%
Plásticos Botellas	1,92%	1%	3%
Plásticos Otros	2,48%	1%	4%
Vidrio	2,38%	1%	4%
Textiles	3,53%	1%	6%
Materia Orgánica	42,15%	30%	54%
Goma, Cuero, Corcho	1,59%	0%	3%
Madera y jardinería	3,88%	0%	8%
Escombros	1,48%	0%	4%
Materiales Compuestos	0,38%	0%	1%
Residuos Peligrosos	0,17%	0%	0%
Inertes Pétreos	3,86%	2%	6%

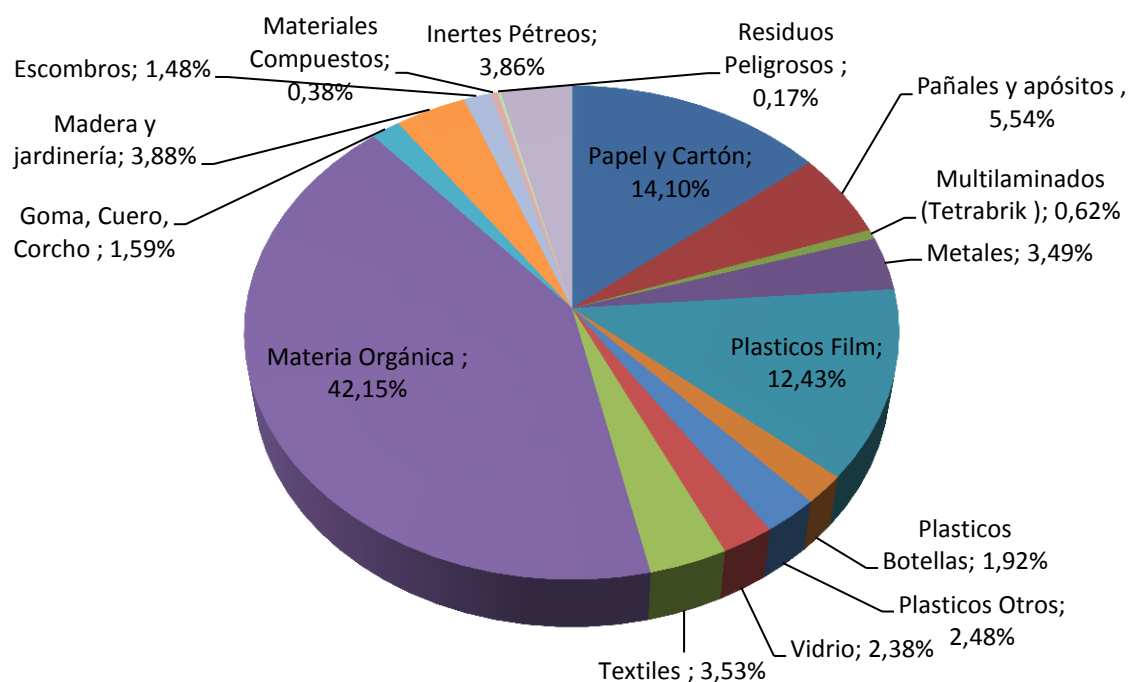


Figura 11-4. Composición física de los RSD de las muestras tomadas.

11.3.4 Determinación de la Densidad Aparente

En campo se determinaron las densidades aparentes de cada una de las unidades muestrales. En la Tabla 9-11 se presentan los resultados de la densidad aparente de cada una de las muestras, así como la media de las mismas.

Tabla 11-10. Densidad aparente de las muestras.

Muestra	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Media
Densidad Aparente (kg/m3)	218,46	344,62	344,62	373,08	265,38	144,62	258,46	278,46

11.3.5 Validación del número de muestras vehiculares

Con los valores obtenidos de la composición física, se efectúa la validación del número de muestras. Esto es, se debe de comprobar si el número de muestras obtenido es suficiente para extrapolar los resultados a la población con un determinado margen de error. Para ello, se vuelve a determinar el número mínimo de muestras necesarias para conseguir la representatividad, pero esta vez utilizando los valores promedio y de desviación típica obtenidos en nuestro muestreo.

Por tanto, aplicando de nuevo la fórmula para la determinación de número de muestras propuesta por la ASTM D5231-92, se obtienen los siguientes datos que confirman los 11 camiones muestreados.

Tabla 11-11. Cálculo del número mínimo de muestras tomando los datos obtenidos en el muestreo.

Nº muestras Mat. Orgánica	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0592	0,1	0,4215	5
2º tanteo	2,015	0,0592	0,1	0,4215	8
3º tanteo	1,8595	0,0592	0,1	0,4215	7
4º tanteo	1,8946	0,0592	0,1	0,4215	7

Nº muestras Papel	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0362	0,2	0,141	4
2º tanteo	2,1318	0,0362	0,2	0,141	7
3º tanteo	1,8946	0,0362	0,2	0,141	6
4º tanteo	1,9432	0,0362	0,2	0,141	6

Nº muestras Plástico film	niv. conf. Student 90% t*	Desv. estándar S	Precisión e	Valor medio X	n
1º tanteo	1,645	0,0108	0,1	0,1243	2
2º tanteo	2,92	0,0108	0,1	0,1243	6
3º tanteo	1,9432	0,0108	0,1	0,1243	3
4º tanteo	2,3534	0,0108	0,1	0,1243	4
5º tanteo	2,1318	0,0108	0,1	0,1243	3

Se observa que la validación del método da un número de muestras igual al número de muestras realizado (7). En este caso, el método se ha validado con un error de muestreo o precisión (e) del 10% para las fracciones de la materia orgánica y del plástico film, y del 20% para la del papel y el cartón.

11.4 Discusión de los resultados

11.4.1 Composición Física de los residuos

Se realiza la comparativa con la composición de los RSD obtenida por la Intendencia en abril de 2012, y la obtenida en el presente estudio. Para ello, es necesario unificar las fracciones de ambas campañas de muestreo. El muestreo que realizó la Intendencia de Tacuarembó consideró separar las muestras en 6 fracciones: Papel y Cartón, Plásticos, Vidrio, Metales, Textiles, Materia orgánica y Otros. Incluyendo en la fracción "Otros: otros componentes como: pilas, pañales desechables, huesos"⁶¹.

En la siguiente Tabla 11-12 se agrupan las fracciones, según criterio de LKSur para poder realizar la comparativa.

Tabla 11-12. Comparativa de composición de RSD del muestreo realizado con la composición promedio de los muestreos realizados por la Intendencia.

Material	Muestreo actual 2013		Tacuarembó 2012 ⁶¹
Papel y Cartón	14,10%	14,10%	13,61%
Multilaminados	0,62%	17,45%	18,44%
Plásticos Film	12,43%		
Plásticos Botellas	1,92%		
Plásticos Otros	2,48%		
Vidrio	2,38%	2,38%	1,01%
Metales	3,49%	3,49%	4,00%
Materia Orgánica	42,15%	47,62%	57,59%
Goma, Cuero, Corcho	1,59%		
Madera y jardinería	3,88%		
Textiles	3,53%	3,53%	1,74%
Pañales y apósitos	5,54%	11,43%	5,76%
Escombros	1,48%		
Materiales Compuestos	0,38%		
Residuos Peligrosos	0,17%		
Inertes pétreos	3,86%		

En esta tabla se observa que en líneas generales las composiciones obtenidas son bastante coherentes o similares. La diferencia importante se encuentra en la fracción Materia Orgánica y en la fracción "Resto u Otros". En el caso de la fracción de orgánica, ambos valores se encuentran dentro de la normalidad en una muestra; y en el caso de la fracción "Resto u Otros", la razón por la que difieren debe buscarse en la propia definición de las fracciones.

⁶¹ Tres composiciones físicas de RSD obtenidas en el muestreo realizado por Intendencia, de 3 camiones procedentes del Barrio Ferrocarril, Centro y Barrio Montevideo, los días de 23, 25 y 27 de abril de 2012 respectivamente.

Si se comparan los datos promedio obtenidos con la Composición Física de los RSU en varios lugares de América del Sur, obtenemos:

Tabla 11-13. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	Muestreo actual 2013	Fichtner-LKSur 2004 ⁶²	Buenos Aires 2009 ⁶³	Santiago Chile 2006 ⁶⁴	Salvador Bahía 2010 ⁶⁵
Papel y Cartón	14,10%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	5,54%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados	0,62%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	3,49%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	12,43%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	1,92%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	2,48%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	2,38%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	3,53%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	42,15%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	1,59%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	3,88%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	1,48%		2,20%		
Materiales Compuestos	0,38%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,17%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	3,86%		1,16%		

Los desechos alimenticios es el primer componente con el 42,15% en peso, que junto con la Madera y jardinería (3,88%), se obtiene la fracción putrescible total con un 46,03%.

Los residuos plásticos son el segundo componente más numeroso, con el 16,83%, encontrándose dentro del intervalo en el que oscilan los valores en otras ciudades de latino América. Pese a todo, si lo comparamos con valores de países europeos desarrollados (7% - 10%), comprobamos que este porcentaje es alto, debido sobre todo al enorme contenido en bolsas de plástico.

El tercer componente en abundancia son el papel y cartón (14,10%).

Comentar que en todos los casos, se ha detectado cantidades relativamente altas de tierras; 3,86%, de hojas de jardinería y pasto.

El porcentaje en pañales y apósitos es del 5,54%, tan abundante como en

⁶² FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

⁶³ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

⁶⁴ ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

⁶⁵ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

otras ciudades. Su contenido está muy relacionado con el nivel de natalidad de la zona estudiada.

Pese a no haber cumplido el Plan de muestreo y, en principio, estar sesgado, la validación del número de muestras obtenidas ha resultado ser suficiente y los valores obtenidos parecen ser coherentes.

11.4.2 Densidad Aparente

Los valores de densidad son totalmente esperables a lo que correspondería una muestra de RSD sin compactar. Estos oscilan entre 144,62 kg/m³ – 373,08 kg/m³, con un promedio de 278 kg/m³.

Valores promedio en algunas ciudades son: Buenos Aires 184,51 kg/m³⁶⁶, Santiago de Chile 231,20 kg/m³⁶⁷, Salvador de Bahía 228,11 kg/m³⁶⁸.

⁶⁶ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

⁶⁷ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

⁶⁸ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

12 ESTIMACION DEL PODER CALORIFICO INFERIOR TEÓRICO DE UN AREA COMPUESTA POR MONTEVIDEO, CANELONES Y CIUDAD DEL PLATA (SAN JOSE).

12.1 Composición Física Media del Área

Para obtener la Composición Física media de esta área, suponemos que la composición física de los RSD en el vertedero de San José es la misma que la de los RSD de la futura Área de Transferencia situada en Ciudad del Plata y que recibirá los residuos de las localidades que la componen, mas la mitad de la ciudad de Libertad.

Estimando la composición media ponderada según la población (Tabla 12-2) obtenemos una composición media para esta área que figura en la siguiente Tabla 12-1

Tabla 12-1 Composición Media del Area compuesta por Montevideo, Canelones y Area de Transferencia de Ciudad del Plata

Material	Media MVD	Media Canelones	Media San Jose	MEDIA PONDERADA
Papel y Cartón	19,05%	18,01%	12,84%	18,67%
Pañales y apósitos	3,57%	7,31%	6,11%	4,56%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,84%	0,50%	0,60%	0,75%
Metales	2,06%	2,72%	2,61%	2,24%
Plásticos Film	10,94%	13,81%	12,92%	11,70%
Plásticos Botellas	1,80%	2,80%	2,35%	2,06%
Plásticos Otros	3,13%	2,79%	5,24%	3,09%
Vidrio	5,73%	3,61%	2,45%	5,13%
Textiles	2,55%	3,88%	2,70%	2,89%
Materia Orgánica	40,95%	32,65%	41,94%	38,89%
Goma, Cuero, Corcho	0,43%	1,56%	1,49%	0,73%
Madera y jardinería	2,35%	3,71%	4,96%	2,74%
Escombros	2,56%	2,10%	0,92%	2,41%
Materiales Compuestos	0,61%	0,79%	0,44%	0,65%
Residuos Peligrosos	0,18%	0,38%	0,30%	0,23%
Inertes Pétreos	3%	3,39%	2,13%	3,26%

Tabla 12-2 Población que ingresa en los SDF de Montevideo y Canelones, y la que ingresará en la futura Área de transferencia de Ciudad del Plata

Poblacion (INE 2011)	MVD	Canelones	Ciudad Plata 50% Libertad
Papel y Cartón	1.319.108	451.821	36.322

A continuación, se realiza la estimación teórica del contenido energético del RSD, teniendo en cuenta los poderes caloríficos en fase seca de las fracciones de

residuos de diferentes fuentes consultadas, tal como se muestran en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3 Poderes caloríficos en fase seca de las distintas fracciones de residuos de las fuentes consultadas.

Material	Porcentaje en peso humedo	Intervalo ⁶⁹ PCI (kJ/kg)	Intervalo ⁶⁵ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁷⁰ (kCal/kg)	PCI medio ⁷¹ (kCal/kg)
Papel y Cartón	18,67%	11.630 - 18.608	2.780 – 4.448	3.614	3.780
Pañales y apósitos	4,56%	9.811	1.223 – 2.224	1.723	1.223
Multilaminados (Tetrabrik)	0,75%	13.956 - 20.934	3.336 – 5.003	4.170	4.170
Metales	2,24%				
Plásticos Film	11,70%	27.913 – 44.195	6.671 – 10.563	8.617	7.839
Plásticos Botellas	2,06%				
Plásticos Otros	3,09%				
Vidrio	5,13%				
Textiles	2,89%	15.119 – 18.608	3.614 – 4.448	4.031	4.425
Materia Orgánica	38,89%	3.489 – 6.978	834 – 1.668	1.251	999
Goma, Cuero, Corcho	0,73%	15.119 – 19.771	3.614 – 4.725	4.170	5.112
Madera y jardinería	2,74%	2.326 – 18.608	556 – 4.448	2.502	3.691
Escombros	2,41%				
Materiales Compuestos	0,65%	9.304 – 11.630	2.224 – 2.780	2.502	2.557
Residuos Peligrosos	0,23%				
Inertes pétreos	3,26%				
PCI TOTAL SIN CORREGIR (kCal/kg)			2.208 – 3.700	2.954	2.785
PCI TOTAL SIN CORREGIR (kJ/kg)			9.239 – 15.481	12.360	11.651

Estos valores de los PCI teóricos son considerando Muestra Seca. Por tanto, es necesario corregir este valor restando el calor necesario para evaporar la humedad de la muestra en la combustión. La humedad media de la muestra considerada es la obtenida en laboratorio para la muestra de Montevideo que fue del 42,97 %.

Por tanto, se corrigen estos valores mediante:

⁶⁹ Valores de PCI estimados en Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous. Pág. 13-7.

⁷⁰ Valores de PCI correspondientes a la media de los intervalos estimados para las diferentes fracciones en Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous. Pág. 13-7.

⁷¹ Valores de PCI utilizados en “Estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de capacidad de generación de energía a partir de residuos en Uruguay”. Themelis Associates, 2012. Pág.42. Tomados del Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous.

$$PCI_{muestra} = \left[\sum PCI_{fracción} * porcentaje_{en\ peso} \right] - 539 * porcentaje_{humedad}$$

siendo el calor necesario para evaporar la humedad de la muestra en la combustión de 539 kCal/kg.

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente Tabla 12-4.

Tabla 12-4. Poder Calorífico Inferior de los RSD calculado teóricamente en base a la composición obtenida en campo.

	Intervalo ⁷ PCI (kcal/kg)	PCI medio ⁸ (kCal/kg)	PCI medio ⁹ (kCal/kg)
PCI TOTAL CORREGIDO (kCal/kg)	1.977 – 3.469	2.723	2.553
PCI TOTAL CORREGIDO (kJ/kg)	8.270 – 14.512	11.391	10.682

Se observa que el valor obtenido de PCI teórico oscilaría entre los valores 1.977 kCal/kg y 3.469 kCal/kg.

Cabe señalar, al igual que ocurrió en el caso de Montevideo (Informe 1), que el calculo anterior es una aproximación puesto que realmente el cálculo del PCI de la muestra si contiene humedad debería ser:

$$PCI_{muestra} = \left[\sum PCI_{fracción} * (porcentaje_{en\ peso\ seco}) \right] - 539 * porcentaje_{humedad}$$

pero esto obliga a conocer los porcentajes en peso de las fracciones secas. O lo que es lo mismo, conocer los valores medios de humedad de cada una de las fracciones.

A modo de aproximación, y tomando los valores extremos de los intervalos de humedad y los valores extremos de los valores de PCI de cada una de las fracciones que aparecen en el Handbook of Integrated Waste Management. G. Tchobanoglous, se obtendría que el poder calorífico oscilaría:

- su valor mínimo oscilaría entre 1.543,16 kCal/kg y 1.752,42 kCal/kg
- su valor máximo oscilaría entre 2.591,13 kCal/kg y 3.015,18 kCal/kg

En el caso de que se tomen los valores extremos de los intervalos de humedad pero fijando los PCI de las fracciones en su valor medio, se obtiene que el poder calorífico teórico de la muestra oscilaría entre 2.067 kCal/kg. y 2.384 kCal/kg.

13 DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS

13.1 Composición Física de los RSD

En la siguiente tabla se indican las composiciones de residuos muestreados en los diferentes SDF en los que se ha trabajado dentro del presente estudio, incluyendo Montevideo que fue presentado en el Informe I.

Tabla 13-1. Comparativa de composición de RSD de los lugares muestreados.

Material	Canelones	Montevideo	Melo	Paysandú	Salto	San José	Tacuarembó
Papel y Cartón	18,01%	19,05%	14,18%	11,88%	13,27%	12,84%	14,10%
Pañales y apósitos	7,31%	3,57%	5,71%	4,87%	7,05%	6,11%	5,54%
Multilaminados	0,50%	0,84%	0,85%	0,51%	0,37%	0,60%	0,62%
Metales	2,72%	2,06%	3,07%	3,36%	3,53%	2,61%	3,49%
Plásticos Film	13,81%	10,94%	7,71%	10,41%	11,40%	12,92%	12,43%
Plásticos Botellas	2,80%	1,80%	1,67%	2,47%	2,23%	2,35%	1,92%
Plásticos Otros	2,79%	3,13%	3,55%	3,42%	3,14%	5,24%	2,48%
Vidrio	3,61%	5,73%	3,74%	3,46%	3,24%	2,45%	2,38%
Textiles	3,88%	2,55%	4,24%	4,53%	3,08%	2,70%	3,53%
Materia Orgánica	32,65%	40,95%	43,81%	42,48%	42,94%	41,94%	42,15%
Goma, Cuero, Corcho	1,56%	0,43%	1,75%	2,17%	1,58%	1,49%	1,59%
Madera y jardinería	3,71%	2,35%	2,06%	4,09%	2,72%	4,96%	3,88%
Escombros	2,10%	2,56%	2,41%	1,23%	0,56%	0,92%	1,48%
Materiales Compuestos	0,79%	0,61%	0,44%	1,30%	0,91%	0,44%	0,38%
Residuos Peligrosos	0,38%	0,18%	0,50%	0,55%	0,21%	0,30%	0,17%
Inertes pétreos	3,39%	3,24%	4,31%	3,27%	3,76%	2,13%	3,86%

En general, los datos obtenidos en todos los muestreos realizados son coherentes y similares entre sí en cada una de las fracciones. No habiendo diferencias significativas, excepto en cuatro valores que se salen del rango de confianza (celda marcada en color gris en la Tabla 13-1). Estos valores fueron:

En Canelones: Materia orgánica (32,65%); en Montevideo: Goma, Cuero y Corcho (0,43%); en San José: Plásticos Otros (5,24%) e Inertes Pétreos (2,13%).

Si consideramos los valores máximos y mínimos de los porcentajes de las fracciones, obtenidos en cada una de las ciudades tenemos:

- **Montevideo:** es el SDF que ha presentado el mayor porcentaje en Papel y Cartón (19,05%), Vidrio (5,73%) y Escombros (2,56%). Y presenta el segundo valor más alto en Multilaminados (0,84%). En cambio presenta los porcentajes más pequeños en Pañales y Apósitos (3,57%), Metales (2,06%), Textiles (2,55%), Goma, Cuero y Corcho (0,43%).

- **Canelones:** es el SDF que ingresa el mayor porcentaje en Plásticos Film (13,81%), Plásticos Botellas (2,80%) y Pañales y Apósitos (7,31%). Y presenta también el segundo valor más alto en Papel y Cartón (18,01%). Por el contrario, presenta el porcentaje más pequeño en Materia Orgánica (32,65%), siendo casi 10% menor a la media.
- **Melo:** es el SDF que presenta el mayor porcentaje en Multilaminados (0,85%); Materia Orgánica (43,81%); Inertes Pétreos (4,31%). Y presenta el segundo valor más alto en Textiles (4,24%) y Residuos Peligrosos (0,50%). Estos RSD presentan los porcentajes más pequeños en Plástico Film (7,71%); Plástico Botellas (1,67%).
- **Paysandú:** es el SDF que presenta el segundo mayor porcentaje en Pañales y Apósitos (7,05%). Estos RSD presentan el porcentaje más pequeño en Papel y Cartón (11,88%).
- **Salto:** es el SDF que presenta el mayor porcentaje en Textiles (4,53%); Goma, Cuero y Corcho (2,17%); Materiales Compuestos (1,30%) y Residuos Peligrosos (0,55%). Sin embargo, presenta el porcentaje más pequeño en Multilaminados (0,37%).
- **San José:** es el SDF que presenta el mayor porcentaje en Plásticos Otros (5,24%) y Jardinería (4,96%). En este SDF ingresa el porcentaje más pequeño en Inertes Pétreos (2,13%).
- **Tacuarembó:** es el SDF que presenta el mayor porcentaje en Metales (3,49%). Sin embargo, presenta el porcentaje más pequeño en Plásticos Otros (2,48%); Vidrio (2,38%) y Materiales Compuestos (0,38%).

En la Figura 13-1 se representan los valores de la Tabla 13-1, para facilitar su visualización.

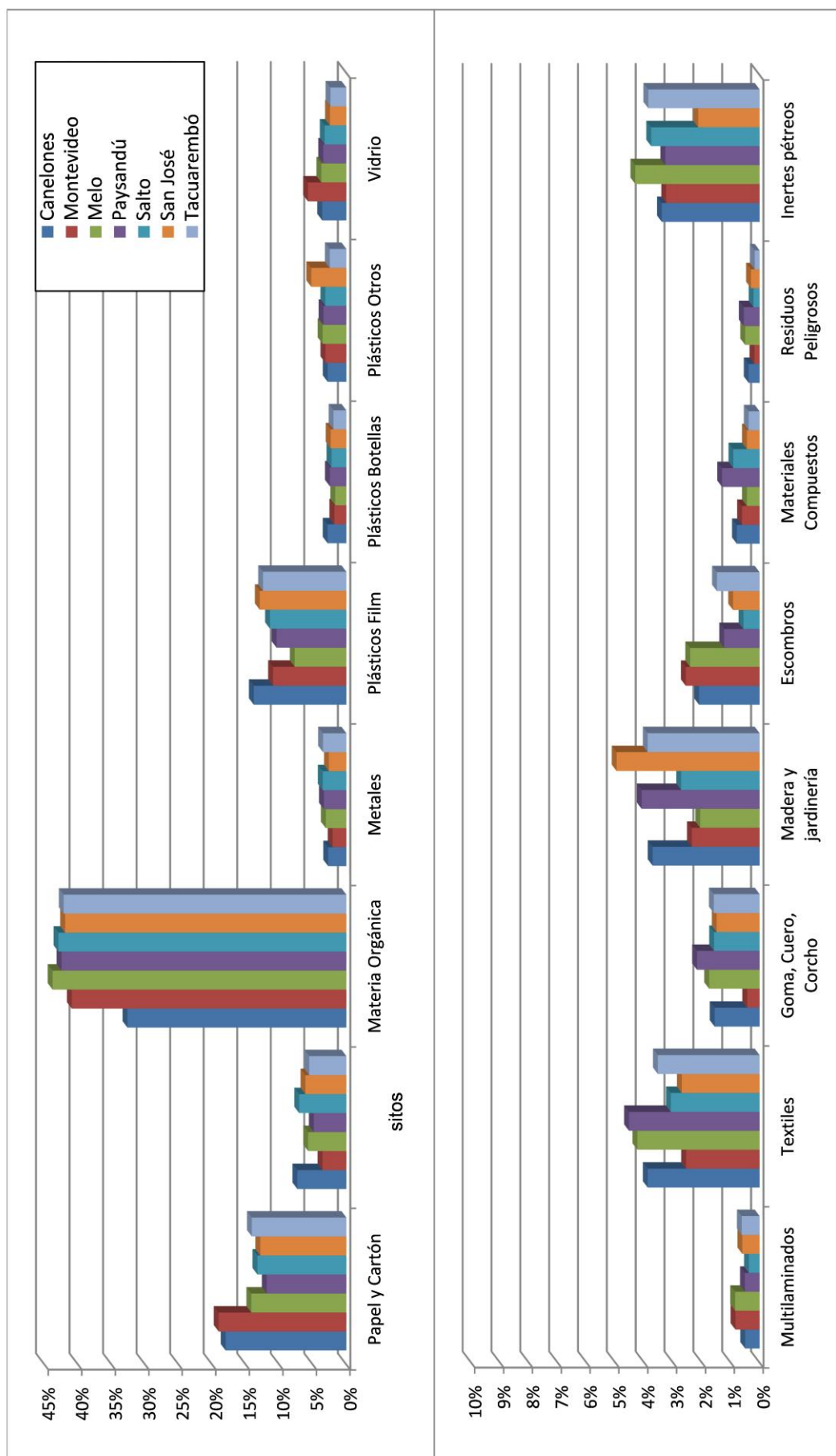


Figura 13-1. Composición física de los RSD de los muestreos realizado

A modo de conclusión, lo más significativo en el análisis realizado de la Composición física de los RSU **es el bajo contenido de Desechos de alimentos en Canelones**, lo que podría deberse, dado el alto valor de la densidad aparente obtenido, al arrastre que ha sufrido con el resto de las fracciones durante la clasificación. Es decir, el estado físico de los RSD muestreados mostraba una gran disgregación y mezcla de las diferentes fracciones, sobre todo en los residuos procedentes de la Estación de Transferencia de Las Piedras. Por lo que, durante el proceso de clasificado se hizo muy complicado separar parte de los restos de comida, sobre todo de las bolsas de plástico y papeles. Indicar por tanto, que si ha existido una transferencia significativa de peso de comida al resto de fracciones (sobre todo en plásticos film o bolsas), estas fracciones ligeras también han visto incrementado su porcentaje en peso en la muestra.

Con el objeto de analizar la información y facilitar la comparación con valores internacionales de referencia, se agrupan las fracciones de acuerdo con su posibilidad de valorización o destino final obteniéndose la Tabla 13-2

Tabla 13-2. Comparativa de las fracciones agrupadas según categorías

Material	Canelones	Montevideo	Melo	Paysandú	Salto	San José	Tacuarembó
Papel y Cartón	18,01%	19,05%	14,18%	11,88%	13,27%	12,84%	14,10%
Plásticos	19,40%	15,87%	12,93%	16,30%	16,77%	20,51%	16,83%
Fracción Fermentable	36,36%	43,30%	45,87%	46,57%	45,66%	46,90%	46,03%
Fracción Combustible	50,66%	42,31%	39,66%	40,26%	42,12%	44,25%	42,21%
Fracción Incombustible	11,82%	13,59%	13,53%	11,32%	11,09%	8,11%	11,21%

Observamos que los SDF de Montevideo y Canelones son los que ingresan mayor porcentaje en Papel y Cartón. Con respecto a la fracción Plástico (film+botellas+otros) son Canelones y San José los que presentan mayores valores. Y en cuanto a la fracción Fermentable (desechos alimenticios+madera y jardinería) ingresan proporciones similares, exceptuando Canelones. La fracción Incombustible (metales+vidrio+escombros+inertes pétreos) es similar, excepto en San José que muestra el valor más bajo.

Si consideramos estas medias de la Tabla 13-1 como valores muestrales de la población total de estos departamentos, obtendremos la Tabla 13-3 donde en la primera columna aparece la Media Muestral de todos los datos, y en la segunda columna la Media Muestral Corregida, que es la media obtenida eliminando los valores fuera del intervalo de confianza.

Tabla 13-3. Medias y desviaciones estándar de los componentes estudiados.

Material	Media muestral	Media corregida	Intervalo de Confianza	
Papel y Cartón	14,76%	14,55%	9,75%	19,77%
Pañales y apósitos	5,74%	5,65%	3,37%	8,11%
Multilaminados (Tetrabrik)	0,61%	0,60%	0,28%	0,94%
Metales	2,98%	2,93%	1,97%	3,98%
Plásticos Film	11,37%	11,21%	7,67%	15,08%

Material	Media muestral	Media corregida	Intervalo de Confianza	
Plásticos Botellas	2,18%	2,15%	1,43%	2,92%
Plásticos Otros	3,39%	3,04%	1,74%	5,04%
Vidrio	3,52%	3,46%	1,45%	5,58%
Textiles	3,50%	3,45%	2,09%	4,91%
Materia Orgánica	40,99%	41,76%	33,99%	47,99%
Goma, Cuero, Corcho	1,51%	1,67%	0,53%	2,49%
Madera y jardinería	3,40%	3,35%	1,45%	5,34%
Escombros	1,61%	1,59%	0,19%	3,03%
Materiales Compuestos	0,70%	0,69%	0,08%	1,31%
Residuos Peligrosos	0,33%	0,32%	0,04%	0,61%
Inertes pétreos	3,42%	3,59%	2,15%	4,69%
Plásticos		16,40%		
Fracción Fermentable		45,11%		
Fracción Combustible		42,32%		
Fracción Incombustible		11,57%		

A su vez, en la Tabla 13-4, se compara la media obtenida para todas las ciudades estudiadas y del Area supradepartamental (AREA SUPRA: departamento de Canelones, departamento de Montevideo y Area de Transferencia de Ciudad del Plata en el departamento de San José) con otras ciudades Latino Americanas, obteniéndose resultandos coherentes.

Tabla 13-4. Comparativa de composición de residuos en diferentes ciudades.

Material	Total muestreo 2013	AREA SUPRA 2013	Fichtner- LKSur 2004 ⁷²	Buenos Aires 2009 ⁷³	Santiago Chile 2006 ⁷⁴	Salvador Bahía 2010 ⁷⁵
Papel y Cartón	14,55%	18,67%	10,50%	18,43%	13,51%	12,18%
Pañales y apósitos	5,65%	4,56%	5,20%	4,27%	4,95%	6,70%
Multilaminados	0,60%	0,75%		0,76%	0,70%	1,54%
Metales	2,93%	2,24%	1,50%	1,56%	1,80%	2,63%
Plásticos Film	11,21%	11,70%	9,90%	12,06%	10,07%	17,26%
Plásticos Botellas	2,15%	2,06%	2,00%	2,07%		
Plásticos Otros	3,04%	3,09%	2,00%	5,56%		4,86%
Vidrio	3,46%	5,13%	3,40%	3,47%	3,94%	2,22%
Textiles	3,45%	2,89%	2,10%	3,40%	1,97%	4,74%
Materia Orgánica	41,76%	38,89%	58,00%	40,10%	49,20%	42,14%
Goma, Cuero, Corcho	1,67%	0,73%	0,60%	0,72%	0,18%	0,22%
Madera y jardinería	3,35%	2,74%	0,60%	3,65%	5,79%	0,28%
Escombros	1,59%	2,41%		2,20%		
Materiales Compuestos	0,69%	0,65%	1,00%			
Residuos Peligrosos	0,32%	0,23%	0,30%	0,72		
Inertes pétreos	3,59%	3,26%		1,16%		
Plásticos	16,40%	16,85%	13,90%	20,45%	10,77%	23,66%
Fracción Fermentable	45,11%	41,63%	58,60%	43,75%	54,99%	42,42%
Fracción Combustible	42,32%	44,45%	32,30%	47,27%	31,38%	47,50%
Fracción Incombustible	11,57%	13,04%	4,90%	8,39%	5,74%	4,85%

Como ejemplo europeo podemos indicar que en España su composición media contiene: Fermentable 41%, Combustible 45%, Incombustible 14% ⁷⁶. En la Figura 13-2 se presenta la comparación de los datos de España con los datos presentados en la Tabla anterior.

⁷² FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004. Pág. 97.

⁷³ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002. Pág. 5.

⁷⁴ ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

⁷⁵ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

⁷⁶ Valorización energética de residuos. Elias Castells. Pag. 108

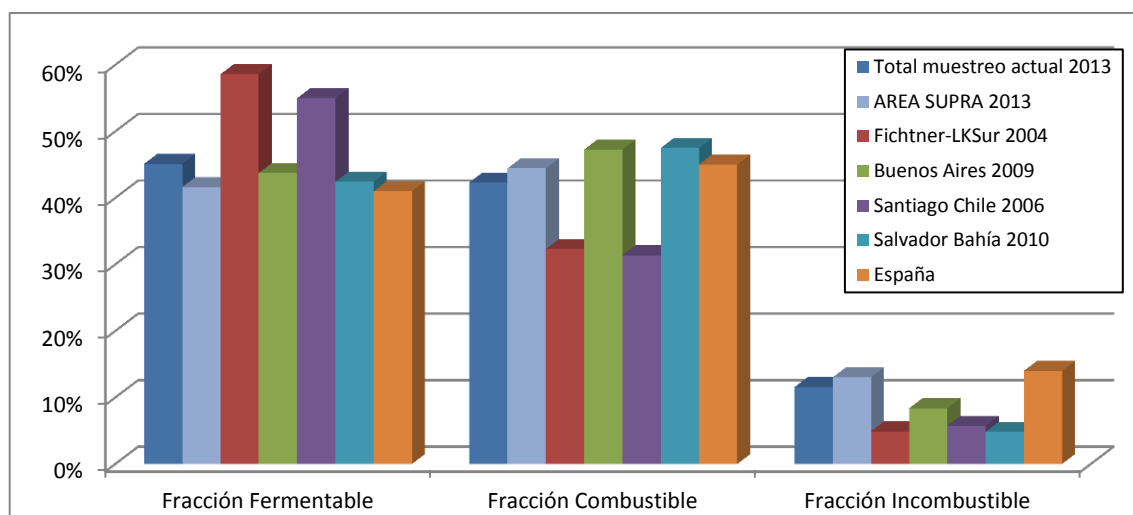


Figura 13-2. Comparativa de las Fracciones Fermentable, Combustible e Incombustible para diferentes ciudades y países.

Se observa que en las composiciones físicas mas antiguas la fracción combustible es menor. Eso probablemente se deba a que cada vez se utiliza mayor cantidad de embalajes y bolsas tanto de papel como plásticas.

13.2 Densidad Aparente de los RSD

Con respecto a las Densidades Aparentes estimadas en todas las ciudades, elaboramos la Tabla 13-5.

Tabla 13-5. Densidad aparente media de los muestreos realizados.

Muestreos realizados	Canelones	Montevideo	Melo	Paysandú	Salto	San José	Tacuarembó	Media	Intervalo de confianza	
Densidad Aparente (kg/m ³)	260,82	183,5	224,06	294,00	235,8	209,4	278,5	240,9	168,3	313,4

Se observa que los valores de densidad suelta del residuo muestreado dan valores comprendidos entre 183,5 kg/m³ y 294,0 kg/m³, con un valor medio de 240,9 kg/m³.

Tal como se ha realizado anteriormente en este estudio, si se compara con valores promedio en algunas ciudades latino Americanas como: Buenos Aires 184,51 kg/m³⁷⁷, Santiago de Chile 231,20 kg/m³⁷⁸ ó Salvador de Bahía 228,11 kg/m³⁷⁹, dichos valores resultan comparables.

Indicar que las fracciones que más inciden en la densidad de los RSD son la Materia Orgánica, el Vidrio y los Escombros. En este caso, los valores de Materia Orgánica, excepto en Canelones que son bajos, en el resto de SDF son muy similares. Respecto al escombros, los SDF que presentan mayor proporción son los de Montevideo y Melo, y los que menos los SDF de Salto y San José. Finalmente, el SDF que mayor porcentaje de vidrio presenta es el de Montevideo. El resto de SDF presentan unos porcentajes de vidrio similares.

Por tanto, sería de esperar que las mayores densidades las obtuviéramos en **Montevideo**, dado que además, los RSD son transportados por camiones compactadores modernos. Analizando los datos del muestreo, se observa que los valores disminuyen mucho en la campaña de muestreo nocturno, por lo que podría deberse a que el personal operativo no fue el mismo. Esto causó que se variara la forma de estimación de la densidad aparente de la muestra.

Paysandú y Tacuarembó presentan valores algo altos con respecto a **Melo** y **Salto**, con composiciones físicas similares. No obstante, estos valores entran dentro de la variabilidad esperable en una campaña de muestreo tan breve en el tiempo.

En **Canelones** se obtiene un valor esperable puesto que los RSD procedentes de la Estación de Transferencia están muy compactados, con elevada humedad y sus fracciones están bastante irreconocibles. Son residuos de aspecto muy sucio e impregnados de residuos de comida. Por tanto, pese a este valor de densidad aparente, el hecho de que obtuviésemos bajos porcentajes de Materia Orgánica en

⁷⁷ Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Op. Cit. Pág. 6.

⁷⁸ ORCCOSUPA, Javier. Op. Cit. Pág. 40.

⁷⁹ Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. Op Cit. Pág. 32.

el proceso de clasificación, reafirma el arrastre de comida impregnada sobre las otras fracciones.

13.3 Poder Calorífico Inferior en Montevideo, Canelones, San José y Área supradepartamental (Montevideo, Canelones y Ciudad del Plata)

Los valores medidos en laboratorio de los PCI de las muestras obtenidas en Montevideo, se resumen en la Tabla 13-6

Tabla 13-6. Poder Calorífico Inferior obtenido en Laboratorio para los residuos de Montevideo

PCI (kCal/kg)	Media	Intervalo de Confianza	
Muestras Representativas	2.180	964	3.396
Muestras Modificadas	1.490	859	2.122

El Poder Calorífico Inferior (PCI) de las Muestras Representativas fue superior al PCI de las Muestras Modificadas debido básicamente al contenido de humedad en la Materia Orgánica, puesto que estas últimas presentan un alto porcentaje en desechos alimenticios.

Tal y como se explicó en el Informe 1 sobre Montevideo, la humedad en las Muestras Representativas fue de 42,97%. Para las Muestras Modificadas su valor promedio fue de 58,37% (mayor valor causado por la alta concentración de materia orgánica en las muestras).

Dada la Composición Física de las muestras de los Departamentos de Canelones y de Montevideo, y del Área supradepartamental (que comprende el Departamento de Montevideo, el Departamento de Canelones y el Área de Transferencia del Ciudad el Plata), se realizó el cálculo teórico de los PCI utilizando los intervalos de valores de PCI de las fracciones del Handbook of Integrated Waste Management (G. Tchobanoglous). Que también fueron empleados para el cálculo teórico del PCI en el Estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de capacidad de generación de energía a partir de residuos en Uruguay” Themelis Associates, 2012.

Por tanto, se realizarán tres estimaciones del PCI teórico de la muestra:

- considerando los valores extremos de estos intervalos,
- considerando su valor medio y
- considerando los valores de PCI de las fracciones utilizados por Themelis en su estudio.

Además, se ha estimado también el PCI teórico considerando los porcentajes en peso de las fracciones en seco.

Todos los valores de PCI teórico estimados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13-7 Poder calorífico calculado a partir de valores de referencia de las diferentes fracciones

PCI (kCal/kg)	SAN JOSE	CANELONES	MONTEVIDEO	AREA SUPRA
PCI Real muestra	No determinado	No determinado	2.180	No determinado
Intervalo teórico PCI ⁷	2.126 – 3.794	2.176 – 3.784	1.904 – 3.352	1.977 – 3.469
PCI medio Teórico ⁸	2.960	2.980	2.628	2.723

PCI (kCal/kg)	SAN JOSE	CANELONES	MONTEVIDEO	AREA SUPRA
PCI medio Teórico ⁹	2.770	2.815	2.457	2.553
Intervalo teórico PCI (fracción seca)	2.215 - 2.581	2.314 - 2.653	1.979 – 2.286	2.067 – 2.384

Podemos observar que el PCI teórico en las muestras de Canelones es superior al de Montevideo. Esto se debe a que en Canelones se ha detectado menor cantidad de Materia Orgánica o fracción Fermentable (36,36%), menor cantidad de fracción Incombustible (11,82%) y mayor cantidad de fracción Combustible (50,66%) que en Montevideo (como se observa en la Tabla 13-2).

Con respecto al PCI de los RSD que ingresan en San José es similar al PCI de Canelones y tiene un valor superior al de Montevideo. Esto se debe a que a pesar de tener un contenido en Materia Orgánica similar a Montevideo, la reducción en el valor del PCI provocado por la Materia Orgánica es contrarrestado por el aumento de PCI que le aportan los textiles y los plásticos.

13.4 Toneladas ingresadas de RSD y Residuos de pequeños generadores en los SDF

En la Tabla 13-8 se presentan las cantidades de residuos que se recolectan con los camiones compactadores en los diferentes circuitos formales establecidos. Indicar que estos residuos son **residuos domiciliarios y comerciales de pequeños generadores, así como los procedentes de la limpieza de basurales (RSD+PG)**. Dentro de estos valores no se incluyen los residuos que son canalizados por servicios específicos, como son los restos vegetales, los escombros, los residuos industriales y comerciales y los reciclados a través de la implementación de la Ley de Envases. No obstante, tanto en los contenedores como en los basurales se encuentran a menudo residuos vegetales y algunos comerciales mezclados, como consecuencia del mal uso del servicio.

Tabla 13-8 Cantidades de RSD que ingresan a los distintos SDF estudiados

SDF	Área influencia	Poblacion afectada INE 2011	Tipo de residuo	RSD+PG Ingreso diario (Ton/día)	RSD+PG Ingreso per cápita (kg/hab/día)	Fuente
Felipe Cardoso	Depto Montevideo	1.319.108	RSD + PG	1310	0,99	Balanza Intendencia, 2012
Cañada Grande	Depto Canelones	451.821	RSD + PG	395	0,87	Campaña pesado Intendencia, 2012
San Jose	parte Depto San José	55.540	RSD + PG	60	1,08	Intendencia
Salto	Ciudad Salto	104.011	RSD + PG	52,99	0,51	Campaña pesado Intendencia, 2012
La Pedrera	Ciudad Melo	51.629	RSD + PG	40 - 50	0,87	CSI Ingenieros, 2011 (1)
Paysandú	Ciudad Paysandú	76.411	RSD + PG	58,82	0,77	Campaña pesado Intendencia, 2012

Tacuarembó	Ciudad Tacuarembó	54.755	RSD + PG	33,61	0,61	Campaña pesado Intendencia, 2012
------------	-------------------	--------	----------	-------	------	----------------------------------

RSD + PG: Residuo Domiciliario y residuo de Pequeño Generador

(1) Información de base para el diseño de un plan estratégico de Residuos Sólidos. Tomos I-II. (CSI Ingenieros, 2011).

Cabe señalar que los valores presentados en la Tabla anterior corresponden a residuos ingresados en los SDF, que no tiene porqué coincidir con los residuos generados en la ciudad o ciudades que ingresan en el SDF. Puesto que estas cantidades se han obtenido por las pesadas de los camiones recolectores a la entrada del SDF. La presencia de clasificadores informales que recorren los contenedores en busca de material valorizable, así como el funcionamiento de circuitos limpios en muchas ciudades, hacen que debamos considerar esta diferenciación.

Cabe comparar los valores anteriores con los datos de generación de residuos urbanos que figuran en las "Bases de la Convocatoria del Proyecto: Solución Nacional para la Valorización y Disposición Final de Residuos (DATA ROOM). Noviembre 2012. Pag.4". Tal como se muestra en la siguiente Tabla

Tabla 13-9 Comparación de datos de Bases del Data Room con presente informe

SDF	Área influencia	Poblacion afectada INE 2011	RSD+PG Ingreso per capita (kg/hab/dia) LKSUR 2013	RSD+PG Ingreso per cápita (kg/hab/dia) DATA ROOM
Felipe Cardoso	Depto Montevideo	1.319.108	0,99	1,08
Cañada Grande	Depto Canelones	451.821	0,87	0,78
San Jose	parte Depto San José	55.540	1,08	0,69
Salto	Ciudad Salto	104.011	0,51	0,51
La Pedrera	Ciudad Melo	51.629	0,87	0,87
Paysandú	Ciudad Paysandú	76.411	0,77	0,65
Tacuarembó	Ciudad Tacuarembó	54.755	0,61	0,73

Las diferencias detectadas en Felipe Cardoso se debe a pequeñas variaciones en los valores de ingreso de RSD+PG. En las bases del Data Room consideraron 1.428 Tn/dia. Valor que incluía los residuos de jardinería.

En Cañada Grande la diferencia se debe a que en las bases del Data Room se tomó como dato de ingreso 407 Tn/dia (frente a 395 Tn/dia) pero, sobre todo, se debe a la cantidad de población considerada. En las bases se establece la población total del departamento (520.187 hab, INE 2011). Mientras que en el presente estudio, la población que ingresa en el SDF de Cañada Grande se estima sumando la población (según INE 2011) de todas las localidades que ingresan en el SDF, sin considerar la población rural.

En el SDF de San José existe mayor diferencia debida a dos factores:

a) por un lado, en las bases de la convocatoria del Data Room se emplea el valor (50 Tn/dia) que aparece en "Información base para el diseño de un Plan Estratégico de residuos sólidos" (CSI Ingenieros, 2011). Y en el presente estudio se

emplea el valor facilitado por la Intendencia (60 Tn/día). En este caso, tal vez el valor de producción de 60 Tn/día sería demasiado elevado, y la realidad estaría más próxima a 50 Tn/día o incluso a valores inferiores.

b) por el otro, en las bases del Data Room se considera una población que ingresa en el SDF de San José de 72.080 hab., que se obtiene de la población total departamental (108.309 hab, INE 2011) restándole la población de Ciudad del Plata y la mitad de la población de Libertad. En cambio, en el presente estudio, la población que ingresa en el SDF de San José se estima sumando la población (según INE 2011) de todas las localidades que ingresan en el SDF y la mitad del municipio de Libertad. Dando como resultado 55.540 habitantes. Esta diferencia de habitantes corresponde a la población rural, que en el presente estudio no ha sido tomada en cuenta. Sin embargo, en las bases del Data Room considera que los residuos generados por estos habitantes rurales de todo el departamento también ingresan en el SDF.

En el SDF de Salto los valores coinciden dado que se ha utilizado la misma información de Intendencia consistente en un muestreo de pesadas durante ocho días en abril 2012.

En el SDF La Pedrera (Melo) coinciden los valores. En este caso, la Intendencia no había realizado ninguna campaña de pesadas y ambos estudios han tomado la misma fuente bibliográfica: "Información base para el diseño de un Plan Estratégico de residuos sólidos" (CSI Ingenieros, 2011).

En el SDF de Paysandú y Tacuarembó se ha barajado la misma información facilitada por la Intendencia de dos muestreos de pesaje realizados en junio (4 días) y abril (11 días) de 2012 respectivamente. La diferencia parece que se deba al redondeo de cifras que realiza el equipo que ha redactado las bases del Data Room.

Indicar que existe una relación directamente proporcional entre el nivel de actividad económica de un país o ciudad y la tasa de generación de Residuos Sólidos tanto domiciliarios como urbanos. Para ello, observese los valores mayores de generación en países más desarrollados presentados en la Tabla 13-10.

Tabla 13-10. Generación de RSU per capita de países de Europa, EEUU y ALC

PAISES / REGIÓN	KG/HAB/DÍA
Estados Unidos	2,08
Suiza	1,95
Alemania	1,59
España	1,59
Reino Unido	1,56
Italia	1,51
Francia	1,48
Suecia	1,42
América Latina y El Caribe	0,93

Fuente: EVAL 2010

Si se toman los datos de ingreso de residuos al SDF Felipe Cardoso (proporcionados por la Intendencia de Montevideo) y se estima la cantidad de Residuos asimilables a Urbanos (RSU), eliminando los de origen Industrial y los

escombros, resulta que el valor para Montevideo es de **1,26 kg/hab/día**. Este valor es inferior a los valores reportados para los países de Europa y Estados Unidos presentados en la Tabla anterior. Pero superior a la media en América Latina y Caribe.

Indicar que según el EVAL 2010⁸⁰, la generación media en 2010 de RSD y RSU en America Latina y el Caribe respectivamente son 0,63 kg/hab/dia y 0,93 kg/hab/dia. Como ejemplos de valores en otros países tenemos los ilustrados en la siguiente figura.

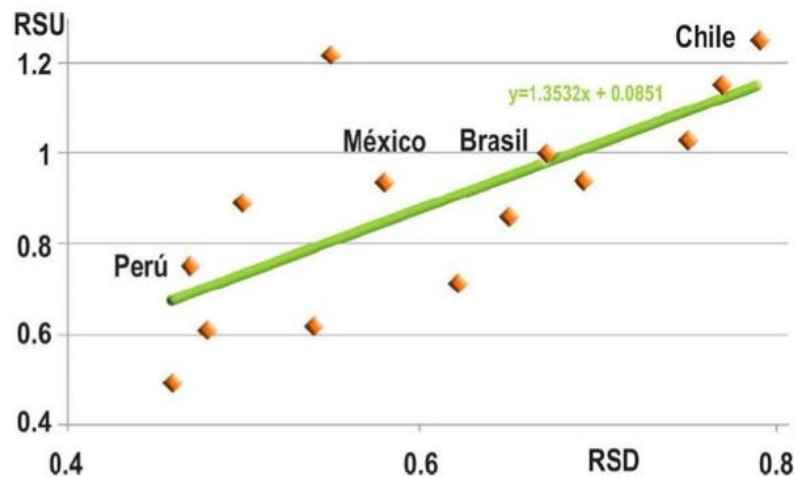


Figura 13-3 Generación per capita de RSU y RSD en ALC (kg/hab/día)

Fuente: EVAL 2010

Si bien los datos de la Figura 13-3 son valores medios de países, tomando de nuevo los valores de ingreso al SDF Felipe Cardoso, resulta que el ingreso de RSD se estima en **0.99 kg/hab/día**. Por tanto, Montevideo se ubicaría dentro de la tendencia próxima a la media de Chile.

⁸⁰ Evaluación Regional del Manejo de RSU en América Latina y el Caribe 2010, OMS/OPS, AIDIS, BID

14 CONCLUSIONES

En el marco del presente proyecto se desarrollaron las actividades de caracterización de residuos sólidos domiciliarios (RSD) en los sitios de disposición final (SDF) de los departamentos de Montevideo, Canelones y San José, y de las ciudades de Salto, Paysandú, Tacuarembó y Melo. El objeto fue obtener la composición física y densidad aparente de los RSD depositados en cada uno de los sitios. Por otro lado, para Montevideo también se obtuvieron en el Laboratorio los valores de Poder Calorífico Inferior y humedad de las muestras.

Como primera etapa del proyecto se planificaron, de acuerdo con datos de Bibliografía y experiencias anteriores, los muestreos con la metodología seguida en la norma ASTM D5231-92 "Standard Test Method for Determination on the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste"

Los planes de muestreo fueron llevados a cabo tal cual lo planificado para la mayoría de los SDF, con la excepción de las ciudades de Paysandú y Tacuarembó en donde dados los riesgos de seguridad personal de las personas no fue posible cumplir el plan previamente establecido.

Se obtuvieron los valores de densidad aparente, así como las proporciones de las fracciones definidas previamente que componen los residuos.

Los valores de composición obtenidos resultaron comparables entre sí y con otras ciudades de Latino América. Es necesario señalar que los porcentajes de Materia Orgánica obtenidos en el departamento de Canelones resultan inferiores a los obtenidos en el resto de los SDF. Esto es posible atribuirlo al arrastre de la Materia Orgánica hacia otros componentes dado el estado de disgregación de las muestras. Estos resultados fueron validados de acuerdo con la norma de referencia para los SDF de Montevideo, Canelones, San José, Salto, Tacuarembó y Melo. En el caso de Paysandú no fue posible asegurar la representatividad de las muestras con el total de la población debido a los inconvenientes acontecidos durante el muestreo. Se obtuvo, a partir de los datos de los diferentes SDF una composición media que resultó comparable con valores de referencia.

Las fracciones obtenidas se agruparon de acuerdo con su condición en Fracción Fermentable, Fracción Combustible y Fracción Incombustible. Se compararon con datos de otras ciudades de Latino América y España, obteniéndose valores similares en dichas fracciones.

Los valores de densidad aparente obtenida para los residuos resultaron comparables con el resto de las ciudades de Latino América, siendo la media (241kg/m³). La densidad de los residuos de Canelones resultó mayor a la esperada (dado el bajo contenido de Materia Orgánica) lo que apoya la hipótesis del arrastre de la misma hacia otras fracciones.

A su vez para Canelones se estimó el PCI a partir de datos bibliográficos del Poder Calorífico de las diferentes fracciones, obteniéndose un intervalo de valores que oscilan entre 2.314 kCal/kg – 2.653 kCal/kg más altos que para Montevideo (1.979 kCal/kg – 2.286 kCal/kg), debido a un menor contenido de Materia Orgánica.

Del mismo modo, se realiza la comparación, en base a datos proporcionados por las Intendencias, de la cantidad de RSD per capita que ingresan a los Sitios objeto del presente estudio. Si se comparan dichos datos con los valores obtenidos en Evaluación Regional del Manejo de RSU en América Latina y el Caribe 2010 de la

Organización Mundial de la Salud (0.63 kg/hab/día) se obtiene que la mayoría de los SDF reciben mayor cantidad de residuos, con la excepción de Salto y Paysandú (0,58 y 0,61 kg/hab/día). Para Montevideo se obtuvieron también a partir de los datos de la Intendencia las cantidades de Residuos Sólidos Urbanos per capita y se los comparó con los valores presentados en el mismo estudio obteniéndose valores mayores que para el resto de America Latina y el Caribe pero menores que para países europeos y Estados Unidos. A su vez, la relación entre RSU y RSD para Montevideo se mantiene dentro de la tendencia de América, siendo similar a la presentada por Chile.

Por último se comparan los datos obtenidos del presente informe sobre cantidad de residuos dispuestas para los diferentes SDF con las presentadas en las "Bases de la Convocatoria del Proyecto: Solución Nacional para la Valorización y Disposición Final de Residuos (DATA ROOM)". Noviembre 2012, discutiéndose las diferencias encontradas.

15 FUENTES CONSULTADAS

IMM. "Primer Estudio de caracterización y cuantificación de los RSU en la ciudad de Montevideo". 1996.

FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana. Estudios Básicos. Anexo Residuos Sólidos Urbanos". Noviembre 2004.

FICHTNER-LKSUR Asociados. "Plan Director de RSU de Montevideo y Área Metropolitana". Fichtner-LKSur, 2005.

N.J.Themelís, M.E. Díaz Barriga. "Estudio de Prefactibilidad Técnica y Económica para la Instalación de Capacidad de Generación de energía a partir de residuos (WTE) en Uruguay". 2012.

CSI Ingenieros. "Información base para el diseño de un Plan Estratégico de Residuos Sólidos". 2011.

CEISMU. "Índice de Nivel Socioeconómico (INSE)", 2012.

Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos. Ciudad de Buenos Aires". Octubre 2002.

ORCCOSUPA, Javier. "Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Provincia de Santiago de Chile". 2002.

Prefectura Municipal de Salvador de Bahía. "Caracterización física de residuos sólidos urbanos, municipio de Salvador de Bahía". Septiembre 2010. Pág. 29.

Norma ASTM "Standard Test Method for Determination on the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste. D5231-92".

Norma IRAM 29523. "Determinación de la composición de residuos sólidos urbanos sin tratamiento previo".

"Bases de la Convocatoria del Proyecto: Solución Nacional para la Valorización y Disposición Final de Residuos (DATA ROOM). Noviembre 2012.

Agilidad, Adaptabilidad y Flexibilidad
en soluciones de Ingeniería

LKSur

Bv. Artigas 990
Tel/Fax: 2708 1216
C.P. 11300
Montevideo, Uruguay
www.lksur.com.uy
www.lks.es
lksur@lksur.com.uy