Plasticolor Sue S.A.S. BIC



“REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE AL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (PGIRS) DE ACUERDO CON LA RESOLUCIÓN 754 DE 2014 PARA EL MUNICIPIO DE SOTAQUIRA, BOYACÁ

REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE AL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (PGIRS) DE ACUERDO CON LA RESOLUCIÓN 754 DE 2014 PARA EL MUNICIPIO DE SOTAQUIRA, BOYACÁ

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE SOTAQUIRÁ

Salomón Buitrago Fonseca
Alcalde Municipal de Sotaquirá

Ricardo Benavides Coronado
Oficina asesora de planeación

Zulma Anaya Jaimes – MSc. Ing. Mecánica UNICAMP / Ing. Mecánica UIS
Carlos Uriel Cortes – MSc. Ing. Mecánica UNICAMP / Ing. Mecánica UIS
Edgar Fernando Cortes – PhD. Energía UFABC / Ing. Mecánica UIS
Director de consultoría
Julián Rengifo Pérez – Esp. Manejo sostenible de Suelos UDCA / Ing. Geógrafo y Ambiental UDCA

Equipo Técnico Plasticolor SUE S.A.S BIC

Estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos del municipio de Sotaquirá

Proceso de contratación de mínima cuantía: No. MS-MC-032-2024

Objeto: "REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE AL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (PGIRS) DE ACUERDO CON LA RESOLUCIÓN 754 DE 2014 PARA EL MUNICIPIO DE SOTAQUIRA, BOYACÁ"

"Por el RENACER de un pueblo UNIDO" (2024-2027)

Administración Municipal

Ricardo Benavides Coronado

Oficina asesora de planeación

Supervisión

PLASTICOLOR SUE SAS BIC

Contratista

Enero de 2025

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **6**

1. OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN **7**

2. INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO **8**

2.1. SUPERFICIE **8**

2.2. NÚMERO DE USUARIOS DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO Y ESTRATIFICACIÓN SOCIAL **8**

2.3. FRECUENCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LA RECOLECCIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO **8**

3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA **9**

C1: GENERACIÓN PER CÁPITA POR DÍA (GPC) DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS (KG/(HAB.-DÍA) 20

C2: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS 22

4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS **23**

5. ANEXOS **24**

A. FORMATOS Y PLANILLAS 24

B. GLOSARIO 26

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el casco urbano del municipio. 11
Figura 2. Identificación de las viviendas de la muestra 12
Figura 3. Sitio de separación de las muestras....13
Figura 4. Registro fotográfico de la toma de muestras en área urbana....14
Figura 5. Registro fotográfico de la preparación de la muestra 15
Figura 6. Registro fotográfico de la preparación de la muestra 16
Figura 7. Cuarteo de las muestras de residuos sólidos homogenizados....17
Figura 8. Registro fotográfico de la aplicación del método de cuarteo 17
Figura 9. Registro fotográfico de mediciones para densidad de residuos 18
Figura 10. Registro fotográfico de la separación por categorías 19
Figura 11. Registro fotográfico de la limpieza del sitio de separación....20
Figura 12. Resultados del estudio de caracterización de residuos del municipio....23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de usuarios del área urbana del servicio de aseo según el tipo 8
Tabla 2. Viviendas en el área de estudio....8
Tabla 3. Frecuencia de recolección....9
Tabla 4. Equipo de Trabajo 9
Tabla 5. Número de viviendas de la muestra urbana. 11
Tabla 6. Etapa de ejecución 12
Tabla 7. Pasos Etapa de Procesamiento: Determinación de la composición física 15
Tabla 8. Densidad de los residuos sólidos objeto de caracterización....18
Tabla 9. Categorías de residuos sólidos 19
Tabla 10. Registro de datos de generación en viviendas por área residencial....21
Tabla 11. Generación per cápita por día [kg/hab-día] de RSO en viviendas del área urbana....21
Tabla 12. Proyección de generación. 22
Tabla 13. Composición de residuos sólidos ordinarios....22

Abreviaturas

CORPOBOYACA	Corporación Autónoma Regional de Boyacá
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
E.S. P	Empresa de Servicio Públicos
EOT	Esquema Básico de Ordenamiento Territorial
PGIRS	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos
RCD	Residuos de Construcción y Demolición
RSE	Residuos Sólidos Especiales
EMSOTAQUIRA E.S.P.	Empresa Solidaria de Servicios Públicos del Municipio De Sotaquirá
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
SUI	Sistema Único de Información

INTRODUCCIÓN

El estudio de caracterización es un *instrumento* de gestión ambiental de residuos sólidos (RS) que facilita la orientación los proyectos de inversión y la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo de los programas del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio. La realización de una cuantificación y clasificación de los residuos sólidos permite determinar el potencial de aprovechamiento, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado. También permite realizar proyecciones cualitativas y cuantitativas de los RS generados en el área de estudio, identificando valores de generación per cápita y composición física.

Este informe expone la metodología aplicada y los resultados del **Estudio de caracterización de residuos sólidos ordinarios (RSO) del área urbana del municipio de Sotaquirá – Boyacá,** realizado por la empresa PLASTICOLOR SUE en el marco del desarrollo del Contrato de Consultoría No. 136 de 2024, cuyo objeto es la "REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE AL PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (PGIRS) DE ACUERDO CON LA RESOLUCIÓN 754 DE 2014 PARA EL MUNICIPIO DE SOTAQUIRÁ, BOYACÁ"

El método de análisis aplicado es el ***muestreo estadístico de caracterización por cuarteo***. Los lineamientos técnicos de procedimiento adoptados por PLASTICOLOR SUE para este tipo de estudios, tienen como referencia la *Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios* (2012) publicada por el Programa CYMA en San José, Costa Rica, la *Hoja de Divulgación Técnica HDT 97 – Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos y la HDT 17* del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales –CEPIS y la Organización Panamericana de la Salud OPS.

Este informe presenta una descripción del proceso realizado, el cual se agrupa en 3 etapas: planificación, ejecución y procesamiento de datos, así como la interpretación de los resultados obtenidos. De esta forma se busca presentar un documento que brinde la información pertinente que será la base para la toma de decisiones en la actualización del PGIRS.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Una buena gestión de residuos requiere cuantificar la producción diaria del área a intervenir. Para tal fin se efectúa una caracterización, que según el Decreto 1713 de 2002, se define como la "determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades". En el presente estudio se desarrolló un **análisis por muestreo estadístico** y un **análisis por peso-volumen** para los residuos ordinarios del área urbana, los cuales se presentarán a detalle. Existen diferentes metodologías, algunas de las cuales se presentan a continuación.

Análisis de pesaje total: Se pesa la totalidad de los residuos que llegan a las instalaciones de disposición final. También se le llama análisis del número de cargas que implica el pesaje en básculas de un número de cargas que llegan a los lugares de tratamiento o disposición final en un periodo determinado. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo.

Análisis peso-volumen: En este método se determina el peso y el volumen de las cargas que llegan a las instalaciones de disposición, con lo que se puede conseguir las densidades suelta y compactada. En base al volumen de carga de los camiones se puede determinar el peso y en base a la densidad se puede tener una idea del tipo de material contenido en los camiones de carga, este aspecto es muy utilizado en la recepción de residuos en plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición.

Análisis de balance de masa: Mejor forma de determinar la generación y el movimiento de residuos con cierto grado de fiabilidad. Consiste en identificar las entradas y salidas de materiales de un sistema limitado. El método se torna muy complejo debido a que se necesita una gran cantidad de datos, muchos de ellos no disponibles. Para la aplicación de un balance de masas se requiere conocer las fronteras del sistema, las actividades que cruzan u ocurren dentro del mismo y la generación de residuos sólidos asociada con las actividades del sistema.

Análisis por muestreo estadístico: Este método implica la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de alguna de las fuentes, durante un periodo de tiempo, determinando los pesos totales y de sus componentes, a partir de un análisis estadístico que permite determinar la tasa de generación y el porcentaje de composición. El número de muestras dependerá de la precisión que se quiera alcanzar, aplicándose métodos estadísticos.

1. OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

Determinar la generación y composición de los residuos sólidos del área urbana del Municipio de Sotaquirá – Boyacá, de la ruta de recolección de residuos ordinarios realizada por el prestador del servicio público de aseo **APC EMSOTAQUIRA E.S.P.** – Administración Pública Cooperativa Empresa Solidaria De Servicios Públicos Del Municipio De Sotaquirá.

Los indicadores generados como resultado de la aplicación de la metodología son:

i	Generación per cápita por día de residuos ordinarios	kg/hab./día
ii	Composición de los residuos ordinarios	% en peso de los componentes de los residuos ordinarios

Se realiza muestreo estadístico, con el fin de conocer la composición de los residuos sólidos generados por los habitantes del municipio durante **una semana**, frecuencia en la que se realiza la cobertura de la recolección de los residuos a los usuarios de APC EMSOTAQUIRA E.S.P., dentro del perímetro de servicio.

Se excluyen en este estudio, entre otros, los siguientes tipos de residuos:

- Residuos orgánicos provenientes de ruta selectiva,
- Residuos especiales,
- Residuos peligrosos,
- Residuos de construcción y demolición,
- Residuos de corte y poda en áreas verdes,
- Residuos eléctricos y electrónicos - RAEE,
- Residuos de barrido y limpieza de áreas y vías públicas,
- Residuos industriales/agroindustriales producidos en grandes volúmenes

El estudio no contempla análisis de los comportamientos químicos y el valor térmico de los residuos.

2. INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Superficie

El estudio se realiza en el **área urbana** del municipio de Sotaquirá, la cual cuenta con 0.31 km^2 de extensión (0.11% del área total del municipio).

2.2. Número de usuarios del servicio público de aseo y estratificación social

De acuerdo a la información suministrada por APC EMSOTAQUIRA E.S.P. el municipio de Sotaquirá cuenta con un número de usuarios del servicio público de aseo de **631** a fecha de corte de septiembre de 2024, de los cuales 327 (52%) pertenecen al área urbana del municipio, y se distribuyen como se muestra a continuación:

Tabla 1. Número de usuarios del área urbana del servicio de aseo según el tipo

Tipo de usuario	Estrato	Número de usuario
Residencial	1	18
Residencial	2	257
Residencial	3	15
Residencial	4	-
Comercial		13
Industrial		2
Oficial		22
Total		**327**

Para dar cumplimiento al alcance del estudio se toman únicamente el número de usuarios de tipo residencial 1, 2 y 3. Al calcular la distribución porcentual correspondiente a cada estrato se tiene que el estrato 1 y 3 representan el ±5% de los usuarios residenciales de área urbana, es decir, no es significativo para los resultados del estudio, lo que nos permite trabajar de forma generalizada la toma de muestras sin dar trazabilidad al nivel de estratificación.

Tabla 2. Viviendas en el área de estudio

Viviendas en el área de estudio			Nusuarios = 290	
Número de vivienda en el estrato:			Porcentaje de cada estrato:	
Alto	N_{EA} =	15	$\%_{EA}$ =	5%
Medio	N_{EM} =	257	$\%_{EM}$ =	89%
Bajo	N_{EB} =	18	$\%_{EB}$ =	6%
-	N_{ER} =	0	$\%_{ER}$ =	0%

2.3. Frecuencia y características de la recolección del servicio público de aseo

Como se presenta en el aspecto de *Recolección, transporte y transferencia* de la Línea Base actualizada del PGIRS, en la actualidad, el funcionamiento de la ruta se realiza los días jueves y viernes, como se detalla en la siguiente tabla. La ruta de recolección cubre el 100% del área de prestación del servicio.

Tabla 3. Frecuencia de recolección

Día	Horario	Descripción
Jueves	6:00 am – 2:00 pm	Los días Jueves se lleva a cabo la recolección de inservibles en algunas veredas en el área rural los cuales son llevados por el compactador para disposición final
Viernes	6:00 am – 2:00 pm	Los días Viernes se lleva a cabo la recolección de inservibles en algunas veredas en el área rural los cuales son llevados por el compactador para disposición final
		Los días Viernes se lleva a cabo la recolección de residuos sólidos en el 100% del área urbana los cuales son llevados por el compactador para disposición final
Nota: En el caso de los residuos sólidos reciclables cuando no son recolectados por la empresa recuperadora son llevados por los usuarios hasta la empresa la cual realiza el proceso de clasificación y almacenaje para su comercialización y posterior proceso de transformación		

Fuente: Línea base de la actualización del PGIRS 2024-2027

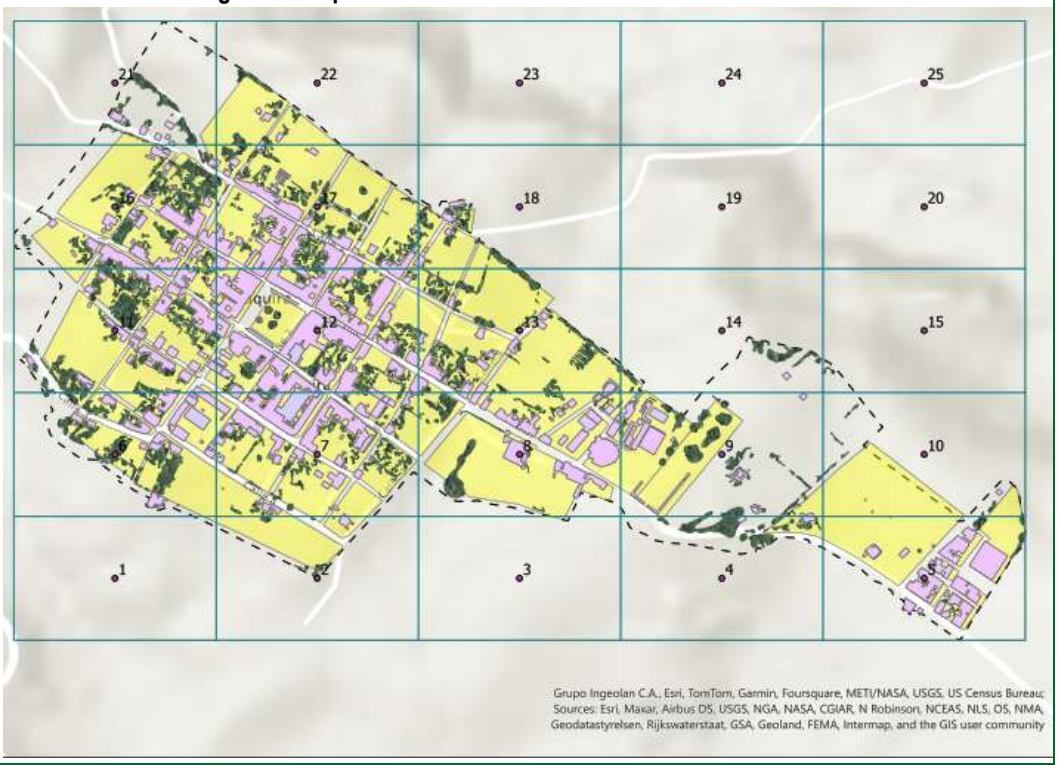
3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología fue adaptada para el análisis de los residuos sólidos ordinarios provenientes de **viviendas** que son sujeto de la recolección regular de residuos sólidos bajo la responsabilidad de APC EMSOTAQUIRA E.S.P. El estudio se realiza en 3 etapas: planificación, ejecución y procesamiento de datos.

A continuación, se presentan una descripción detallada del desarrollo de los pasos relevantes de cada etapa.

A. Planificación:

<table>
<tr><th>PASO</th><th>DESCRIPCIÓN</th></tr>
<tr><td>A1: Creación del equipo de trabajo</td><td>Se conforma el Equipo de Trabajo del estudio; las funciones de cada miembro del equipo son adaptadas de acuerdo a las capacidades del personal y los requerimientos de cada etapa del estudio.
Tabla 4. Equipo de Trabajo
<table>
<tr><th>Equipo de Trabajo</th><th>Rol</th><th>Equipo de Planificación</th><th>Equipo de Ejecución</th><th>Equipo de Procesamiento</th></tr>
<tr><td>Zulma A.</td><td>Líder del proceso</td><td>X</td><td></td><td>X</td></tr>
<tr><td>Julián R.</td><td>Aux. Logística</td><td>X</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Federico López</td><td>Líder en campo</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td></tr>
<tr><td>Yudy Hurtado EMSOTAQUIRA</td><td>Gerente USPD</td><td></td><td>X</td><td></td></tr>
<tr><td>Operario1 USPD</td><td>Aux.</td><td></td><td>X</td><td></td></tr>
<tr><td>Operario2 USPD</td><td>Aux.</td><td></td><td>X</td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>A2: Identificación de la fecha del muestreo</td><td>Para definir la fecha a realizar el trabajo de campo se consideraron varianzas que puede generar en los resultados obtenidos en el estudio, a causa de condiciones ambientales o socioculturales. El muestreo se realiza el día viernes 06/12/2024.</td></tr>
<tr><td>A3: Identificación del área del estudio y de los estratos</td><td>Se identifica el área de estudio, el número de viviendas y usuarios en el área de prestación, así como la frecuencia de recolección. La muestra se calcula en relación al número de usuarios que tienen acceso al servicio público de aseo, y basados en la información suministrada por EMSOTAQUIRA E.S.P., para el caso del área urbana se cuenta con 290 usuarios residenciales,</td></tr>
</table>

socioeconómicos	cuya frecuencia de recolección de residuos ordinarios es semanal; se asume un único nivel de estratificación, dado el tamaño de la muestra y una diferenciación baja en el componente de generación de ±5%.
A4: Identificación de las zonas de muestreo	En el mapa del área de estudio, se identifican las zonas de muestreo. Ya que en el municipio de Sotaquirá presenta una frecuencia de recolección uniforme en el 100% del área urbana, se decide tomar como área de estudio la totalidad del casco urbano. **Figura 1. Mapa de estimación de la distribución de la muestra** 
A5: Determinación del número de viviendas de la muestra	La aplicación del **muestreo estadístico proporcional** es el método más común para la selección de la muestra, asegurando que cada vivienda de un estrato tenga la misma posibilidad de ser seleccionada. Como en este caso se manejaron ambas muestras sin distinción por estratificación social, no se realizó la aplicación de este muestreo proporcional. Para estimar el número total de usuarios en el área de estudio ($N_{usuarios}$) se adiciona como mínimo un 10% de unidades para compensar ante una posible "no-respuesta" (se considera cuando no quisieron dar información del número de habitantes de la vivienda, o no presentaron los residuos durante la semana de muestreo, etc.). El cálculo del tamaño de muestras se obtiene de la siguiente ecuación: $$\boldsymbol{n_{viv}} = \frac{Z^2 * N_{viv} * \sigma^2}{(N_{viv} - 1) * E^2 + (Z^2 * \sigma^2)} * 1.25$$ Dónde: $\boldsymbol{n_{usuarios}}$ = número de usuarios que incluirá la muestra. N_{viv} = total de viviendas del área de estudio Z = nivel de confianza al 95% = 1,96. σ = desviación estándar = 0,12 kg/hab./día. E = error permisible = 0,06 kg/hab./día.

<table>
<tr><td></td><td>
Tabla 5. Número de viviendas de la muestra urbana.
<table>
<tr><th>Variable</th><th>Valor</th><th>Unidad</th></tr>
<tr><td>N_{viv}</td><td>290</td><td>usuarios</td></tr>
<tr><td>Z</td><td>1.96</td><td>-</td></tr>
<tr><td>E</td><td>0.12</td><td>kg/hab/día</td></tr>
<tr><td>G</td><td>0.06</td><td>kg/hab/día</td></tr>
<tr><td>n_{viv}</td><td>18</td><td>muestras residenciales</td></tr>
</table>
Los valores correspondientes al nivel de confianza, desviación estándar y error permisible son referencias de estudios anteriores realizados dentro y fuera del país. Al adicionar el 10% de unidades ante posibles imprevistos, se obtiene un tamaño de muestra de 20 viviendas en el área urbana del municipio de Sotaquirá.
</td></tr>
<tr><td>A6: Selección de las viviendas de la muestra</td><td>
No es necesario que las muestras se tomen en la totalidad del municipio, sino en lugares que sean una buena representación de la zona urbana, de manera que ayude a facilitar la logística de recolección de las muestras. Por esta razón se eligieron lugares distribuidos de forma aleatoria.

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el casco urbano del municipio.


</td></tr>
<tr><td>A7: Definición de la frecuencia del muestreo</td><td>
El número de veces que se muestreará en cada vivienda identificada durante la semana que tarda el estudio es una (1) vez. Esto se encuentra directamente relacionado a la frecuencia de recolección o rutas de recolección regular. Es importante hacer énfasis en que el estudio abarcar <u>una semana</u>, que es el tiempo que los usuarios almacenan sus residuos sólidos ordinarios, objeto de estudio.
</td></tr>
</table>

B. Ejecución: La toma de las muestras se realiza a partir de la recolección de todos los residuos puestos sobre la acera al frente de las viviendas seleccionadas para la muestra y previamente informados, antes de realizar la ruta regular de recolección de muestreo. La preparación y toma de muestras se describe a continuación.

Tabla 6. Etapa de ejecución

PASO	DESCRIPCIÓN
B1: Recolección de información de las viviendas y comercios	Previo al estudio de campo se contactó con las viviendas que conforman la muestra con la finalidad de ***informar sobre el objetivo e importancia del estudio y registrar la información relevante*** de cada vivienda. Se informó de forma verbal a los ciudadanos de la muestra sobre la actividad que se adelanta, dando indicaciones para la presentación de los residuos ordinarios en la bolsa entregada, sin alterar sus costumbres de generación y disposición de residuos. Se solicitó colocar las bolsas en la acera/junto a la casa de su vivienda identificadas con el número asignado en el estudio. Así mismo, se identificaron cada uno de los puntos a muestrear con una etiqueta en la puerta de la casa o lugar visible. La siguiente figura presenta un ejemplo de la identificación de usuarios. Para facilitar la recolección, cada usuario recibió una bolsa grande de basura de color verde y una calcomanía con un número identificador correspondiente al código registrado en la etiqueta. **Figura 2. Identificación de las viviendas de la muestra** 
B2: Preparación del lugar de	Con la colaboración de EMSOTAQUIRA E.S.P. se contó con sus instalaciones para el tratamiento de las muestras. Esta es un área abierta sin cubierta, en un terreno plano, destapado y con gravilla;

separación de las muestras	además, el lugar fue acondicionado para realizar el pesaje y la separación de los residuos. Se utilizó un cubrimiento de plástico de 4x4m como se aprecia en el registro fotográfico. **Figura 3. Sitio de separación de las muestras**  
B3: Toma de muestras	Para la recolección de las muestras se contó con el apoyo del municipio. Se realizó la recolección en una ruta diferenciada a la ruta normal, utilizando una carretilla para su desplazamiento al lugar de separación. Las muestras recolectadas no fueron pesadas durante la ruta de muestreo, sino al llegar al sitio de separación de las muestras.

Figura 4. Registro fotográfico de la toma de muestras en área urbana

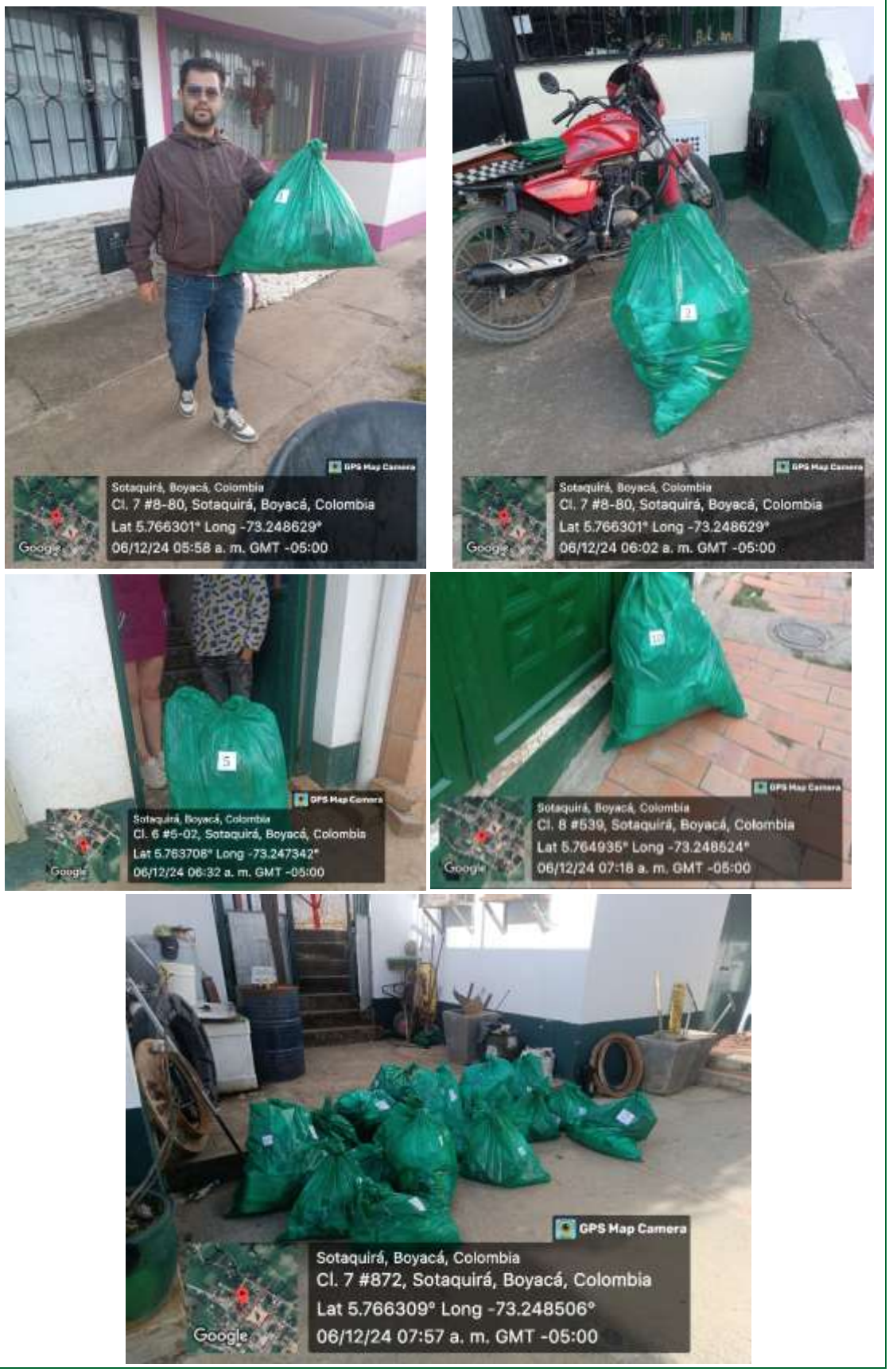


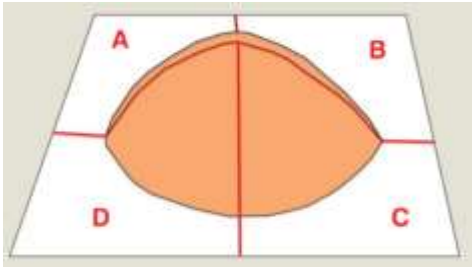
Tabla 7. Pasos Etapa de Procesamiento: Determinación de la composición física

PASO	DESCRIPCIÓN
B4: Preparación de bolsas	Se prepararon bolsas plásticas de color verde, de aproximadamente 50 litros (tamaño grande o de jardín). Para realizar la separación de los residuos, se identificaron las bolsas por las categorías seleccionadas para el estudio que tuvieran representación en cada muestra.
B5: Disposición de la muestra	Utilizando la muestra completa recolectada en un día, se ubican los residuos en una zona de cuarteo, sobre un plástico de suficiente resistencia y tamaño para evitar el contacto directo de los residuos con el suelo.
B6: Preparación de la muestra	Se toma registro del peso de cada muestra y se registra en planilla. **Figura 5. Registro fotográfico de la preparación de la muestra** 

Se abren las bolsas de los residuos y se vierten en el suelo para su homogenización.

Figura 6. Registro fotográfico de la preparación de la muestra



	Siguiendo las recomendaciones para estos procedimientos, se identifican previamente los residuos sanitarios y no son sacados de las bolsas en el momento de realizar el cuarteo. Es importante incluirlos en el estudio, pero sin exponer a las personas que ejecutan el trabajo de campo a este tipo de residuos. Se homogeniza la muestra a través del volteo de los residuos utilizando palas y se forma un montículo.
B7: Aplicación del método de cuarteo	Ya que, previo a realizar el cuarteo se conoce el peso total de residuos por cada área (de acuerdo a los pesajes realizados), se tienen las siguientes consideraciones: • Se forma el montículo como un cuadrado y se divide en 4 partes iguales. • Se escogen dos partes opuestas y se descartan las dos no seleccionadas. En el siguiente diagrama se demuestra el método del cuarteo, donde se eligen las fracciones rojas para formar un nuevo montículo y repetir hasta tener el tamaño deseado. **Figura 7. Cuarteo de las muestras de residuos sólidos homogenizados**  Fuente: Castillo M. y Hardter U., (2014) Gestión integral de residuos sólidos en regiones insulares. ED. Irma Larrea Oña. WWF y Toyota, Galápagos, Ecuador, pág. 26. **Figura 8. Registro fotográfico de la aplicación del método de cuarteo** 

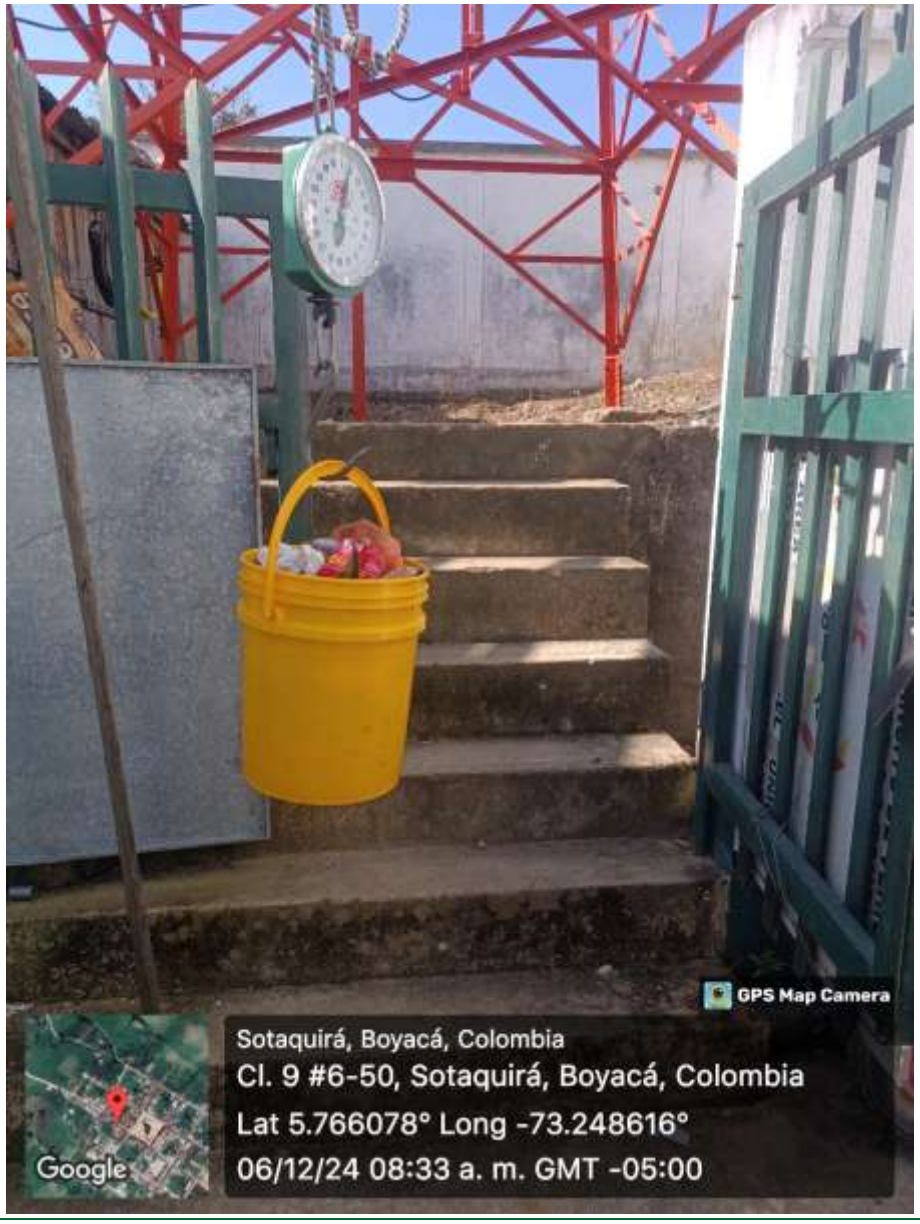
B8: Densidad de los residuos sólidos	Para determinar la densidad de los residuos se requiere calcular el peso de los residuos y el volumen del recipiente, el cual tiene un diámetro de 30 cm y una altura de 36 cm. Al realizar los cálculos se obtiene volumen de 0.0254 m^3. Se realizaron 3 medias del recipiente lleno de residuos, registrando y promediando un valor de 4.8 kg. De esta forma se tiene que la densidad de los residuos sólidos fue de **188.9 kg/m^3**.

Tabla 8. Densidad de los residuos sólidos objeto de caracterización

	Masa kg	Densidad kg/m^3
Muestra 1	6.0	236.2
Muestra 2	4.0	157.5
Muestra 3	4.5	177.2
Valores promedio	**4.8**	**188.9**

Fuente: Estudio Grupo Técnico Actualización PGIRS

Figura 9. Registro fotográfico de mediciones para densidad de residuos



B9: Separación en categorías	Luego se separan los componentes del último montículo según las categorías de la siguiente tabla a la cual corresponda. Los residuos restantes posterior a la separación, aquellos que no se puede determinar su naturaleza se clasifican como otros y no definibles. **Tabla 9. Categorías de residuos sólidos** **Categoría principal** 1 Biodegradable 2 Papel/Cartón 3 Plástico 4 Vidrio 5 Metales 6 Textiles 7 Polilaminados (tetras) 8 Peligrosos generados en el hogar 9 Eléctricos y electrónicos 10 Otros
B10: Pesaje por categorías	Cada una de las fracciones de residuos de acuerdo a la categorización establecida es pesada y registrada. Una vez finalizado este procedimiento, los residuos son dispuestos nuevamente en bolsas para su posterior disposición final. **Figura 10. Registro fotográfico de la separación por categorías** 

B11: Limpieza del lugar de separación	Una vez finalizado el procedimiento, la totalidad de los residuos de la muestra son recolectados en bolsas para ser dispuestos por el carro recolector del municipio en su ruta regular del día con destino a relleno sanitario. El lugar del cual se dispuso para realizar el procedimiento, fue limpiado al terminar la separación por categorías. **Figura 11. Registro fotográfico de la limpieza del sitio de separación** 

C. Procesamiento: Determinación la generación y composición física de RS: La descripción del paso a paso de la etapa de procesamiento y determinación de la generación de residuo sólidos, es el siguiente:

C1: Generación per cápita por día (G_{PC}) de residuos sólidos ordinarios (kg/(hab.-día)

Para obtener la cantidad de RS generados por habitante por día se debe dividir el peso de los residuos totales recogidos durante la semana en cada área, entre el número de habitantes totales de las viviendas muestreadas en la misma área y entre el número de días de generación que representan (7 días).

Para el estudio, la muestra total de residuos sólidos urbanos domiciliarios generados fue de 102 kg de residuos ordinarios. A continuación, se muestra el registro de la información con la cual se obtiene la generación per cápita para el área urbana:

:

Tabla 10. Registro de datos de generación en viviendas por área residencial

Código de identificación (ID)	Latitud	Longitud	No. de Habitantes	Peso muestra (kg)
Punto	L	Long	Columna	Columna
01	5.766011	-73.247897	2	6
02	5.766301	-73.248629	4	7
03	5.764282	-73.245086	2	2
04	5.764912	-73.245339	4	5
05	5.763708	-73.247342	5	13
06	5.7642	-73.247527	1	4
07	5.764828	-73.247167	2	7
08	5.765608	-73.246561	2	2
09	5.766738	-73.247664	5	4
10	5.764935	-73.248524	7	8
11	5.76505	-73.248862	4	4
12	5.764894	-73.250082	4	0
13	5.766156	-73.249149	5	6
14	5.76609	-73.249374	3	4
15	5.766797	-73.249205	5	3
16	5.766481	-73.249016	3	2
17	5.766831	-73.2483	5	9
18	5.766754	-73.247781	4	6
19	5.76585	-73.248022	4	8
20	5.765942	-73.248054	3	2
Totales			**74**	**102**

El **promedio ponderado de generación per cápita por día** $\boldsymbol{G_{PC}}[\frac{kg}{hab.-día}]$ para el área de estudio se obtuvo dividiendo el peso total de la muestra entre el número total de habitantes, con base en la muestra tomada (no en la población total) y dividiendo nuevamente por 7 días. El resultado obtenido es:

Tabla 11. Generación per cápita por día [kg/hab-día] de RSO en viviendas del área urbana

No. hab.	74
Peso total muestra	102
G_{PC}	**0.197 kg/hab-día**

Con G_{PC} y el número total de habitantes en el área de estudio, se obtiene la generación total de RSO por día en el área de estudio (G_{Total}). Tomando el número total de habitantes en área urbana del municipio como 7.344 habitantes para el año 2025, de acuerdo a la proyección poblacional realizada en la actualización de Línea Base, contamos con una generación total de residuos sólidos ordinarios generados en viviendas del área urbana del municipio de Sotaquirá, de **1,4 toneladas por día**.

$$G_{Total} = G_{PC-D_{total}} * Número\ total\ de\ habitantes$$

$$G_{Total} = 0.197\ \frac{kg}{hab.-día} * 7.344\ hab = 1.446 \frac{kg}{día} = \mathbf{1,4}\ \frac{\boldsymbol{ton}}{\boldsymbol{día}}$$

Proyección

A partir de la información del estudio, se busca proyectar la generación per cápita en el futuro al igual que se hace para la población. Para esto se aplica el método de estimación directo. La cantidad de residuos se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$G_{RS_f}\ (ton/año) = P_{futura}(hab.) *\ PPC(kg/hab - dïa) * 30(dïas/mes) * 10^{-3}$$

En la Tabla 12 se presentan los resultados de la proyección de generación per cápita futura. Se considera la proyección poblacional presentada anteriormente y también se asume una disminución del 2% en la G_{Total}, de acuerdo a lo proyectado en la actualización de los programas del PGIRS.

Tabla 12. Proyección de generación.

Año	Población (hab.)	ppc kg/(hab-día)	Generación futura promedio (Ton/mes)
2025	7.359	0.197	44
2026	7.374	0.197	44
2027	7.388	0.197	44

Fuente: Estudio Grupo Técnico Actualización PGIRS

C2: Composición porcentual de los residuos sólidos ordinarios

Para el área de estudio se cuenta con los pesos de cada una de las categorías presentes en el muestreo a partir de los resultados obtenidos en el trabajo de campo. De esta manera se obtiene el porcentaje de cada categoría en los RSO generados por las viviendas en el área urbana. Los resultados se presentan en la siguiente tabla, donde se muestran los datos completos de las categorías principales definidas iniciales.

Tabla 13. Composición de residuos sólidos ordinarios

Categoría principal	Peso neto de la categoría P_j (kg)	Porcentaje en peso de la categoría
Biodegradable	22.0	**61.62%**
Papel/Cartón	3.5	**9.80%**
Plástico	8.0	**22.41%**
Vidrio	0.7	**1.96%**
Metales	0.5	**1.40%**
Textiles	1.0	**2.80%**
Polilaminados (tetras)	0.0	**0.00%**
Peligrosos generados en el hogar	0.0	**0.00%**
Eléctricos y electrónicos	0.0	**0.00%**
Otros componentes generales	0.0	**0.00%**
Total	**36**	**100.00%**

4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Con los datos obtenidos en el trabajo de campo se realizan los gráficos que permiten análisis y comparaciones. En este estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 12. Resultados del estudio de caracterización de residuos del municipio



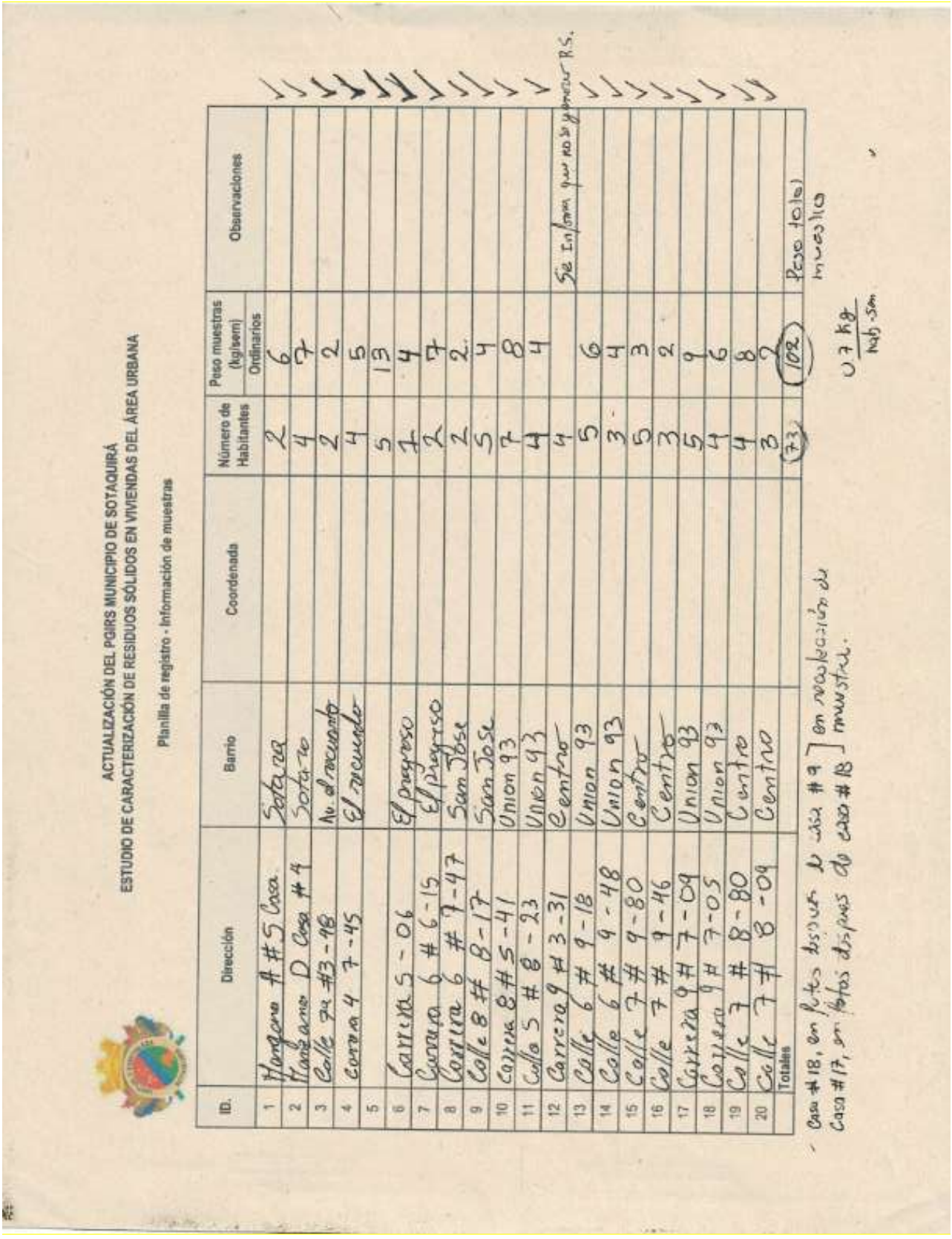
Se encontró que los residuos que predominan en la generación son los clasificados como “otros componentes generales” que comprende papel higiénico, pañales desechables y similares, y los residuos “biodegradables”.

También se evidencia que los residuos “biodegradables” que son las cáscaras de frutas, vegetales, de poda de jardín y similares, y los residuos plásticos son las categorías que prevalecen, representando el 30% y 22% respectivamente, por lo que hay un amplio potencial para el aprovechamiento de estos, acciones que ya se adelantan por parte del EMSAN y que se articulan desde el PGIRS.

Se determinó una generación per cápita por día de residuos sólidos ordinarios de 0,197 kg/hab.-día, lo que permite estimar una generación total diaria de 1.4 toneladas de residuos sólidos ordinarios y cerca de 40 toneladas al mes.

Es así como se identifica una cantidad cercana a los **10 Ton de residuos plásticos** generados al mes en las viviendas, que pueden ser considerados para ser tratados desde el Programa de Aprovechamiento de residuos que se orienta desde el PGIRS.

5. ANEXOS
A. FORMATOS Y PLANILLAS



ACTUALIZACIÓN DEL PGIRS MUNICIPIO DE SOTAQUIRÁ
ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN VIVIENDAS DEL ÁREA URBANA

Planilla de registro - Información de muestras

ID.	Dirección	Barrio	Coordenada	Número de Habitantes	Peso muestras (kg/sem) Ordinarios	Observaciones
1	Hongera # #5 Casa.	Soteira		2	6	
2	Manzana D Casa #4	Sorteo		4	7	
3	Calle 7a #3-98	Ns. el rosario		2	2	
4	Carrera 4 7-45	El rosario		4	5	
5				5	13	
6	Carrera 5 - 06	El progreso		1	4	
7	Carrera 6 # 6-15	El progreso		2	7	
8	Carrera 6 # 7-47	San José		2	2.	
9	Calle 8 # 8-17	San José		5	4	
10	Carrera 8 # 5-41	Union 93		7	8	
11	Calle 5 # 8 - 23	Union 93		4	4	
12	Carrera 9 # 3-31	Centro		4		Se informa que no se genera R.S.
13	Calle 6 # 9-18	Union 93		5	6	
14	Calle 6 # 9 - 48	Union 93		3	4	
15	Calle 7 # 9-80	Centro		5	3	
16	Calle 7 # 9-46	Centro		3	2	
17	Carrera 9 # 7-09	Union 93		5	9	
18	Carrera 9 # 7-05	Union 93		4	6	
19	Calle 7 # 8-80	Centro		4	8	
20	Calle 7 # 8-09	Centro		3	2	
	Totales			(73)	(102)	Peso total muestra

Casa #18, en ptos distintos de casa #9] en recolección de
Casa #17, en ptos distintos de casa #18] muestra.

0.7 kg / hab-sem

ACTUALIZACION DEL PGIRS MUNICIPIO DE SOTAQUIRA

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN VIVIENDAS DEL ÁREA URBANA

Planilla de registro de peso de muestras por composición

Responsable: Oscar Federico Lopez Fecha: 6/12/2024

	CATEGORÍA PRINCIPAL	SUBCATEGORÍAS	Peso [kg]	PESO TOTAL [kg]
1	Biodegradables	Cáscaras de frutas, vegetales	11 Kg	
2		Jardín		
3		Otros	12 → Papel higienico y toallas similares	
4	Papel / Cartón	Papel blanco		3,5 kg
5		Papel de color		
6		Periódico		
7		Cartón		
8		Cartondilo o plegadiza		
9		Otros papeles		
10	Plástico	1-PET		8.0 kg
11		2-ADPE		
12		3-PVC		
13		4-LDPE		
14		5-PP		
15		6-PS		
16		7-Otros plásticos		
17	Vidrio	Envase blanco o cristal		
18		Envase marrón		
19		Envase verde		
20		Plano		
21	Metales	Aluminio		
22		Ferrosos		
23		No ferrosos		
24	Texdtiles	Texdtiles	1 Kg	
25	Polilaminados	Polilaminados o tetrabrick / tetrapak		
26	Peligrosos	Peligrosos		
27	Electrónicos	Electrónicos		
28	Otros			
29	Otros			
30	Otros			
			TOTAL	36 kg Peso muestra. ≈ 39 kg.

Pesos para calculo de densidad:	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Total
	6.0 kg	4.0 kg	4.5 kg	

B. GLOSARIO

Área de estudio: se refiere al municipio sujeto a estudio. Se pretende que el estudio sea representativo, por lo que se recomienda considerar la totalidad de su territorio y no solamente la cabecera municipal.

Composición de los residuos: Trata de identificar en una base másica o volumétrica los distintos componentes de los residuos. Usualmente los valores de composición de residuos ordinarios se describen en términos de porcentaje en masa, y contenidos como materia orgánica, papel y cartón, plásticos, textiles, metales, vidrios, etc.

Generación de residuos ordinarios: se refiere a la producción de residuos ordinarios, en términos de kilogramos generados, la cual es una variable que depende del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas.

Muestra: Son los residuos tomados durante el estudio desde una unidad de generación, es decir, en una vivienda o comercio. En caso de más de una recolección regular de residuos por semana, una muestra consiste en la suma de los residuos tomados en varios días de recolección.

Recolección regular de residuos: Recolección de RS generados en las viviendas y los comercios, que son responsabilidad del municipio. Puede ser ejecutada directamente por la Administración Municipal o por terceros.

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE: Aquellos residuos que se derivan de aparatos eléctricos y/o electrónicos tanto de uso doméstico como comercial. Se consideran parte de estos residuos los componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto. Los aparatos electrónicos son todos aquellos que utilizan electricidad. *Referencia*: Ley 1672 de 20013 “Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES), y se dictan otras disposiciones.”

Residuos especiales: Residuos que, por su composición, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje, formas de uso o valor de recuperación, o por una combinación de esos, implican riesgos significativos a la salud y degradación sistemática de la calidad del ecosistema, por lo que requieren salir de la corriente normal de residuos ordinarios.

Residuos peligrosos: Residuos que, por su reactividad química y sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, radioactivas, biológicas, bioinfecciosas e inflamables, o que por su tiempo de exposición puedan causar daños a la salud y al ambiente.

Residuos Sólidos Ordinarios (RSO): Residuos de carácter doméstico generados en viviendas y en cualquier otra fuente, que presentan composiciones similares a los de las viviendas. Se excluyen los residuos de manejo especial o peligroso.

Ruta de muestreo: es la ruta de recolección de las muestras de las viviendas y comercios, la cual corresponde a la misma ruta de recolección regular de residuos en un horario anticipado.

Vivienda: Es todo local o recinto, fijo o móvil, construido, convertido o dispuesto, que se use para fines de alojamiento de personas, en forma permanente o temporal.

C. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MUESTRAS CON GEOREFERENCIACIÓN

<table>
<tr>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
</table>


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 6 #5-02, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.763708° Long -73.247342°
06/12/24 06:32 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 6 #5-12, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.7642° Long -73.247527°
06/12/24 06:37 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 6 #6-04, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.764828° Long -73.247167°
06/12/24 06:45 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 6 #7-55, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.765608° Long -73.246561°
06/12/24 06:50 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 8 #8-149 A 8-41, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.766738° Long -73.247664°
06/12/24 06:58 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 8 #539, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.764935° Long -73.248524°
06/12/24 07:18 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 5 #8-33, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.76505° Long -73.248862°
06/12/24 07:22 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 6 #934, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.766156° Long -73.249149°
06/12/24 07:36 a. m. GMT -05:00
Google


14
GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 6 #9-37, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.76609° Long -73.249374°
06/12/24 07:38 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 7 #9-86, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.766797° Long -73.249205°
06/12/24 07:43 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 7 #9-52, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.766481° Long -73.249016°
06/12/24 07:47 a. m. GMT -05:00
Google


17
GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 7 #872, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.766831° Long -73.2483°
06/12/24 07:08 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 8 #8-149 A 8-41, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.766754° Long -73.247781°
06/12/24 07:03 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 8 #6-51, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.76585° Long -73.248022°
06/12/24 07:53 a. m. GMT -05:00
Google


GPS Map Camera
Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Cl. 8 #6-51, Sotaquirá, Boyacá, Colombia
Lat 5.765942° Long -73.248054°
06/12/24 07:55 a. m. GMT -05:00
Google