

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Caracterización de los residuos sólidos urbanos en el municipio
de Santa Clara

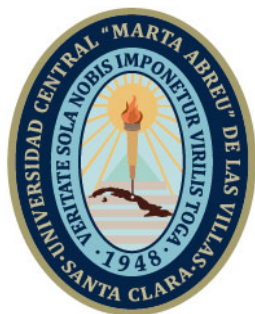
Autora: Lisandra Fabregat Arias

Tutor (es): Ing. Yaima González González

Ing. Jesús Gabriel Moreira Díaz

Curso 2018-2019

Santa Clara



DIPLOMA THESIS

Title: Characterization of urban solid waste in the municipality of Santa Clara.

Author: Lisandra Fabregat Arias

Tutor (s): Ing. Yaima González González
Ing. Jesús Gabriel Moreira Díaz

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“Perder con clase y vencer con osadía, porque el mundo pertenece a quien se atreve, y la vida es mucho más para ser insignificante”

Charles Chaplin

Dedicatoria

A mi madre Lourdes Arias, inspiradora y guía de mi formación profesional, que aunque no pudo alcanzar su sueño de verme graduada, estará presente eternamente en cada paso de mi vida.

A mi padre Hiran Fabregat por apoyarme en todo y confiar siempre en mí.

Agradecimiento

A mi incondicional familia, por el apoyo y la comprensión, a mis padres por guiarme, a mi tía Elisa por ayudarme en todo, a mi hermano por su amor, a mi tutora por su entrega profesional y por su amistad.

A todos los que de una forma u otra colocaron su grano de arena para la realización de este trabajo y dieron su apoyo para convertirme en una Ingeniera Industrial.

Gracias

Resumen:

Cuba se encuentra en el desarrollo de un proyecto llamado Sistema Integrado de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (SIGRSU), el cual está encaminado a minimizar la cantidad de residuos que arriban al vertedero, por lo que es imprescindible definir estrategias para lograr el buen funcionamiento de cada una de las etapas presentes en el ciclo de vida de los residuos sólidos urbanos (RSU). El municipio de Santa Clara es una de las ciudades elegidas para dicho proyecto, en el mismo no son conocidas las características de los residuos sólidos, información de la cual depende la forma de gestionarlos, de esta forma el objetivo que persigue la investigación es definir los índices de generación y composición de los residuos sólidos urbanos en dicho municipio. Para ello se emplea la metodología desarrollada Sakurai y CEPIS/OPS (2000), se aplica además el muestreo estratificado, el método del cuarteo, los datos obtenidos se procesan a través del MINITAB 16 STATISTICAL SOFTWARE, se le realizan pruebas de laboratorio a las muestras para precisar el porcentaje de humedad y el poder calorífico. Como principal resultado se define el índice de generación promedio de RSU en el municipio de Santa Clara siendo el mismo 0.694 kg/hab/día, con una composición orgánica del 84% y un porcentaje de humedad de 72.4% el cual es alto, por lo que se llega a la conclusión de que el poder calorífico inferior es bajo imposibilitando así la producción de energía.

Summary:

Cuba carry out a development of a project called Municipal Solid Waste Management System (MSWIMS), which is aimed at minimizing the amount of waste that arrives at the landfill. For this, it is essential to define strategies to improve the performance of every stages present in the life cycle of the municipal solid waste (MSW). The municipality of Santa Clara is one of the cities chosen for this project, the characteristics of solid waste is unknown, information which depends the way of managing the waste. So the objective pursued by the research is to define the generation index and municipal solid waste composition and composition. For this purpose, it is use the methodology developed by Dr. Sakurai and CEPIS / OPS, it is also applied the stratified sampling and the quartering method. Data obtained is processed through the MINITAB 16 STATISTICAL SOFTWARE, it is carried out laboratory tests to samples to determine the percentage of moisture and heating value. As the main result, it is defined an average production of MSW in Santa Clara of 0.694 kg / habitant per day, with an organic composition of 84% and a humidity percentage of 72.4% which is high, so that it is the concluded that the low heating value is so low making impossible the production of energy.

Introducción:

A diferencia de recursos como el aire, el suelo o el agua, en los cuales se llevan a cabo diversos procesos de acumulación, transporte, transformación, modificación de sus características naturales, y transferencia e impacto de un medio a otro, los residuos son subproductos generados por las diversas actividades que el ser humano realiza a nivel personal o colectivo; tanto en zona urbana, agrícola o industrial.

Los residuos urbanos e industriales, han evolucionado a lo largo del tiempo, tanto en volumen como en composición, resultado entre otras cosas; del crecimiento poblacional y a patrones de consumo; y de las nuevas sustancias y productos que continuamente ingresan al mercado. Esta situación, aunada a que se depositan prácticamente en cualquier sitio, les confiere un alto grado de complejidad en materia de reducir y controlar sus descargas e impactos al medio ambiente (Calva Alejo and Rojas Caldelas, 2014).

La gestión de los residuos sólidos se ha convertido en un tema de creciente preocupación a nivel mundial, ya que las poblaciones urbanas siguen aumentando, generando un incremento en los residuos sólidos, donde los patrones de consumo cambian con el tiempo, causando consecuencias negativas en la salud y el medio ambiente, en especial en los países en desarrollo.

La generación de residuos constituye un problema ambiental grave de nuestra sociedad. Su abandono o su gestión inadecuada pueden producir impactos notables en el medio y pueden provocar la contaminación del agua, suelo y aire, además de contribuir al cambio climático y afectar a los ecosistemas y a la salud humana. Sin embargo, si éstos se gestionan de forma adecuada, pueden convertirse en recursos contribuyendo así al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales, del clima y al desarrollo sostenible.

En la actualidad, existe una tendencia mundial que propende por el fortalecimiento de la conciencia ambiental de la sociedad; así pues, se plantea una búsqueda permanente de mecanismos, estrategias y tecnologías capaces de mitigar la pérdida acelerada de los recursos naturales del planeta como alternativa de solución al agotamiento de los recursos naturales, la pérdida de ecosistemas y diversidad ecológica. Entre los problemas que se presentan a nivel mundial, se destacan los grandes inconvenientes relacionados con la generación y disposición final de los residuos sólidos RS, ya que el crecimiento demográfico e industrial hace que diariamente se arrojen millones de toneladas a las superficies terrestre

y acuática, sin ningún tipo de tratamiento ni manejo previo, produciéndose una grave polución que implica consecuencias irreversibles(Savino, 1999).

Hoy en día, una parte considerable de los residuos que producimos son de naturaleza inorgánica, generalmente plásticos, vidrios y metales, que generan más problemas al no poderse reintegrar de nuevo al medio ambiente por su naturaleza no orgánica, y su gestión inadecuada puede ocasionar un grave deterioro ambiental. Esto, unido al hecho de que las fuentes de recursos de nuestro planeta son limitadas, hace que sea necesario que conozcamos cuáles son los residuos que generamos en nuestros hogares, en nuestro lugar de trabajo y en nuestra vida diaria, para así llevar a cabo una buena separación y gestión de éstos, con lo que conseguiremos que los daños sobre el medio ambiente y nuestra salud sean, en lo posible, mínimos.

En Cuba cada día disminuyen las posibilidades de enfrentamiento de una forma racional y eficiente al problema de la gestión integral de residuos sólidos urbanos GRSU, principalmente los estudios de caracterización de los residuos sólidos urbanos (RSU) como consecuencia de las carencias materiales. Sin embargo, la gestión de los mismos de acuerdo con sus características, costos de tratamiento y posibilidades de recuperación y comercialización, constituye una de las prioridades ambientales del territorio por las cuestiones de índole técnica, logística y social que inciden en la salud y la calidad de vida de los pobladores.

A raíz de esto el país está inmerso en un proyecto llamado Sistema Integrado de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos(SIGRSU) el cual tiene como objetivo principal reducir hasta niveles mínimos los residuos que entran al vertedero, para ello se hace necesario definir estrategias en pos de lograr el buen funcionamiento de cada una de las etapas incluidas en el ciclo de vida de los RSU. Dicho proyecto ha sido extendido a las principales ciudades de Cuba entre las que se incluye Santa Clara. En el territorio no están definidos los índices de generación de los residuos, así como su composición física, química y biológica, información de la cual depende la forma de gestionarlos, lo que constituye la **situación problemática** del presente trabajo de diploma.

De lo que se deriva el siguiente **problema de la investigación**:

¿Cómo definir los índices de generación y composición de los RSU en el municipio de Santa Clara en pos de su correcta gestión?

En función de la solución del problema científico se plantea como **objetivo general** definir los

índices de generación y composición de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Santa Clara.

De este se derivan los **objetivos específicos** siguientes:

1. Elaborar el marco teórico-referencial analizando la bibliografía referida a los RSU, su gestión, así como las diferentes herramientas usadas para su caracterización.
2. Realizar una caracterización de la situación actual del sistema de GIRSU en el municipio de Santa Clara.
3. Aplicar la herramienta seleccionada adecuándola a las peculiaridades del municipio de Santa Clara, permitiendo conocer así las particularidades de los residuos generados.

Para dar cumplimiento a los objetivos se utilizarán varias herramientas como: Análisis de documentos, observación directa, entrevistas a trabajadores, herramientas estadísticas como muestro estratificado y análisis estadístico a través del Software Minitab 16. Se utiliza el método del cuarteo se les realizan análisis químicos a los residuos.

El presente trabajo de diploma se estructura en dos capítulos. El capítulo 1: "Análisis bibliográfico de diversos contenidos referentes a los residuos sólidos urbanos, su gestión y caracterización"; abarca los principales elementos teóricos derivados de la revisión bibliográfica de la literatura nacional e internacional y especializada en el tema, así como los métodos, metodologías y normas para la GIRSU. Por otra parte, el capítulo 2: "Aplicación de la metodología para la caracterización de RSU en el municipio de Santa Clara", está estructurado en dos partes: la primera contiene las generalidades sobre la situación de los residuos sólidos y su gestión en la ciudad de Santa Clara, la segunda la metodología a aplicar para la realización de dicho estudio y los resultados obtenidos. Además, se presentan conclusiones que se sujetan a los objetivos propuestos y se brindan recomendaciones. También se anexan gráficos, tablas, mapas y fotos que facilitan la comprensión de la información.

La investigación cuenta principalmente con valores como: teórico, metodológico, social y prácticos fundamentados en lo siguiente:

El **valor teórico** que sustenta la investigación permite la actualización de los conocimientos en relación con los conceptos obtenidos en la investigación bibliográfica para la confección del marco teórico referencial, derivado de la consulta de la literatura nacional e internacional actualizada sobre la GIRSU. También se puede utilizar como material de consulta en otras

investigaciones del tema. El **valor social** de la investigación radica en la contribución a la mejora del medio ambiente por la posibilidad que tiene disminuir el daño que los residuos provocan. El **valor metodológico** se manifiesta al disponer de una metodología que permita la caracterización de los residuos sólidos en el municipio de Santa Clara.

Índice

Capítulo 1. Análisis bibliográfico de diversos contenidos referentes a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), su gestión y caracterización.	1
1.1 Marco teórico referencial de la investigación.	1
1.2Residuos Sólidos Urbanos	1
1.2.1 Definiciones de RSU	1
1.2.2Características de los Residuos Sólidos	2
1.2.3 Clasificación de los Residuos Sólidos	3
1.2.4 Generalidades de los RSU	4
1.3 Gestión integral de los RSU	5
1.3.1 Etapas de la GIRSU	6
1.3.2 Generación y composición de los RSU	8
1.4 Metodologías para la caracterización de los residuos sólidos	12
1.5 Situación de los RSU en el mundo	16
1.5.1 Marco legal	17
1.5.2 Tendencias en la planificación del manejo de residuos sólidos en el mundo	18
1.5.3 Casos de estudios realizados en diversas localidades.	18
1.6 Situación actual de los residuos sólidos urbanos en Cuba.	19
1.7. Situación de los RSU en la ciudad de Santa Clara	20
1.8 Conclusiones parciales	21
Capítulo 2: Aplicación de la metodología para la caracterización de RSU en el municipio de Santa Clara	22
2.1. Introducción	22
2.2. Caracterización preliminar de la gestión de los RSU en el municipio de Santa Clara	22
2.2.1Datos generales de Santa Clara	22
2.2.2 Generación de los RSU	23

<u>2.2.3 Recolección y transporte</u>	24
<u>2.2.4 Tratamientos</u>	28
<u>2.2.5 Disposición final</u>	28
<u>2.3. Procedimiento para el estudio de caracterización de los RSU</u>	29
<u>Conclusiones Generales</u>	46
<u>Recomendaciones</u>	47
<u>Anexos</u>	1

Capítulo 1. Análisis bibliográfico de diversos contenidos referentes a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), su gestión y caracterización.

1.1 Marco teórico referencial de la investigación.

El marco teórico referencial surge como resultado de la consulta a la literatura nacional e internacional más actualizada, con el objetivo de reflejar el estado del arte y la práctica desarrollado sobre la gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos que permita elegir una de las metodologías usadas en el mundo. En la figura 1.1 se muestra el hilo conductor con la estrategia trazada para la construcción de esta etapa del estudio.



Figura 1.1. Hilo conductor de la investigación. Fuente. Elaboración propia.

1.2 Residuos Sólidos Urbanos

Con el fin de definir la gestión de los residuos sólidos urbanos, es necesario precisar los diferentes conceptos relacionados con la temática, así como sus características, clasificación e impactos.

1.2.1 Definiciones de RSU

Para dar comienzo a la focalización paulatina del tema y área de interés del presente estudio,

se hace necesaria la revisión de ciertas generalidades asociadas a los residuos sólidos (RS) en su componente global. En este contexto, cabe escudriñar rápidamente sobre la evolución de la conceptualización de RS en los niveles académico, científico y social; al respecto, se puede afirmar que “los residuos sólidos se definen como aquellos desperdicios que nos son transportados por agua y que han sido rechazados porque ya no se van a utilizar”. Sin lugar a dudas, esta concepción resulta bastante ambigua si se reconoce que “el término residuo no corresponde con la acepción de la palabra desecho, pues ésta trae implícita la no utilidad de la materia”. En realidad, hasta los años setenta los RS fueron conocidos indiscriminadamente como “basura” pero desde la década de los ochenta se han expuesto argumentos técnicos para comprender que “la denominación de residuos es mucho más apropiada que la de desperdicios, desechos o basuras”.

Poco a poco, el inconsciente colectivo de la mayoría de las comunidades ha interiorizado la significación disímil de los conceptos basura y residuo sólido; de tal forma que los RS podrían considerarse como los materiales de un proceso, normalmente industrial o domiciliario, que después de haber sido sometidos al uso por necesidades mercantiles o de supervivencia, han quedado como sobrantes del ciclo particular pero que son susceptibles a la reintroducción, por aprovechamiento o disposición final inocua, al ciclo general de producción o al ciclo eco sistémico (Acosta and Fabián, 2015).

Según la Real Academia Española, un residuo es “aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo”, pero tiene aún una definición más interesante: “material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación”. ¿Por qué es que resulta mejor ésta definición? Porque encara directamente al tema a tratar en la presente investigación; referido a analizar, gestionar y buscar una solución adecuada al tratamiento de residuos domiciliarios. Si bien esta definición expresa que los residuos no poseen valor alguno; en realidad, gran parte de los desechos que generamos día a día (como son el papel, cartón, plástico, entre otros), pueden tratarse y reutilizarse como materia prima de nuevos productos. Esto permite disminuir la cantidad de residuos que se disponen en los enterramientos sanitarios, y como consecuencia inmediata, reducir la contaminación ambiental(Rüeck et al., 2015).

1.2.2Características de los Residuos Sólidos

Se define residuo como “cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la

intención o la obligación de desechar”.

La composición de los residuos es muy variada y heterogénea, ya que están constituidos por material es muy diversos. Según el país en el que vivamos la cantidad de residuos que producimos varía, así los más desarrollados generan más residuos por habitante y día que los menos desarrollados. También existen variaciones dentro de un mismo país dependiendo de las características de la zona (urbana o rural), del nivel de vida de la población, de la estación del año, clima, etc.(De la Oliva and Malonda, 2012).

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólidos, resultantes del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables (Beltrán Vila, 2014).

1.2.3 Clasificación de los Residuos Sólidos

En una primera apreciación, se puede decir que los RS “son todos aquellos residuos en su estado sólido que pueden clasificarse de acuerdo a su naturaleza y a su peligrosidad”

-Residuos no peligrosos: son aquellos producidos en cualquier lugar y en desarrollo de una actividad que no presenta ningún riesgo para la salud humana y/o el medio ambiente; se consideran en este grupo los residuos biodegradables, reciclables, inertes y ordinarios o comunes.

-Residuos peligrosos: son aquellos residuos producidos con algunas de las siguientes características: infecciosas, combustibles, inflamables, explosivos, reactivas, radioactivas, volátiles, corrosivas y/o tóxicas, que pueden causar daño a la salud humana y/o al medio ambiente. Así mismo se consideran peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

-Residuos orgánicos: son todos aquellos que pueden descomponerse naturalmente y que tienen en su estructura básicamente carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno estos pueden ser: papel, cáscaras de verduras, residuos de alimentos, frutos, bebidas, residuos de cosechas, algas, hojas de árboles, etc.

-Residuos inorgánicos: son los que por sus características químicas sufren una

descomposición natural muy lenta. Muchos de ellos son de origen natural pero no son biodegradables, por ejemplo, los envases de plástico. Generalmente se reciclan a través de métodos artificiales y mecánicos, como las latas, vidrios, pilas entre otros(Jha et al., 2011).

Se infiere que los RS se pueden clasificar, según su naturaleza, en aprovechables y no aprovechables (orgánicos e inorgánicos) y de acuerdo a su peligrosidad como residuos sólidos ordinarios (no peligrosos) y residuos sólidos peligrosos. Sin embargo, este primer acercamiento diferenciador puede tornarse exiguo para un análisis más detallado de los RS. Por tal razón, se presenta a continuación una clasificación de RS más amplia y funcional.

De acuerdo a la fuente	
Domésticos	Industriales
Comerciales	Institucionales
Agrícolas	De construcción
Municipales o Urbanos	Hospitalarios
De acuerdo a su Naturaleza	
Aprovechables	No aprovechables
De acuerdo a su grado de peligrosidad	
Ordinarios	Peligrosos
De acuerdo a su poder calorífico	
Bajo poder calorífico	Alto poder calorífico
De acuerdo a sus características biológicas	
Inertes	Patógenos
De acuerdo a su composición química	
Inorgánicos	Orgánicos
Otras clasificaciones específicas de acuerdo a su peligrosidad	
Inflamables	No inflamables
Volátiles	No volátiles
Tóxicos	No tóxicos
Corrosivos	No corrosivos
Reactivos	No reactivos
Radiactivos	No radiactivos
Explosivos	No explosivos

Figura 1.2: Clasificación de los RS. Fuente: (Acosta, 2015).

1.2.4 Generalidades de los RSU

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son residuos no peligrosos que se originan en la actividad doméstica, comercial e industrial, y que son recogidos por autoridades públicas o privadas. La cantidad y características de estos tipos de residuos no se ajustan a un estándar, ya que varían de hogar en hogar, según las estaciones, según los ingresos de cada familia, el clima, la locación geográfica, entre otros factores.

Los residuos generados en el domicilio se clasifican en dos categorías:

1)Residuos Secos o Inorgánicos: Dentro de los cuales se puede encontrar papel y cartón, tetrabrik, plástico, vidrio, metales, envases de acero y aluminio, y otros (materiales de construcción, cenizas, piedras, objetos voluminosos, etcétera). Este grupo de residuos son los que pueden reciclarse y reutilizarse.

2)Residuos Húmedos u Orgánicos: Comprende restos orgánicos como restos de comida, pañales, descartables sucios, celofán, envoltorios de golosinas plastificados, lamparitas, espejos, botellas o vasos rotos; vajilla y macetas de cerámica o barro, trapos sucios; entre otros.

En los países desarrollados, los RSU generados poseen un mayor porcentaje de papel y cartón (alrededor de un tercio de la basura generada), seguida por la materia orgánica y el resto lo componen el plástico, metal, madera y otros residuos. En cambio, en países sub desarrollados, la materia orgánica ocupa hasta tres cuartas partes de los residuos producidos, siguiéndole en menor proporción los papeles, plásticos, vidrio y metales(Leal Filho et al., 2016).

1.3 Gestión integral de los RSU

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos es un sistema de manejo de los RSU que, basado en el Desarrollo Sostenible, tiene como objetivo primordial la reducción de los residuos enviados a disposición final. Ello deriva en la preservación de la salud humana y la mejora de la calidad de vida de la población, como así también el cuidado del ambiente y la conservación de los recursos naturales. (Panagiotidou et al., 2015).

Se define Gestión Integral como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de la totalidad de los residuos generados en una determinada zona geográfica. En buena medida, la degradación ambiental que padecemos es una consecuencia directa de la mala gestión que se ha venido practicando de los productos residuales.

El crecimiento demográfico, la explotación de las materias primas y la energía, y la contaminación generada en todos los procesos amenazan seriamente el futuro de la humanidad y de todo el sistema ecológico global. La actividad económica en los países industrializados en las últimas décadas ha producido un importante aumento cuantitativo de los residuos, así como de su complejidad debido al uso de decenas de miles de nuevas sustancias muchas de ellas tóxicas o peligrosas.

Fue en los años 80, cuando se empezó en España la recogida selectiva de papel-cartón y vidrio en grandes contenedores. Los envases y embalajes no-recuperables son los que más aumentan la basura. A pesar de su valor se tiran y contaminan, como: (papel cartón, aerosoles, aluminio y polietileno, que debido a la complejidad de su separación no son recuperados, y pasan a aumentar considerablemente el volumen de las basuras recogidas.

De acuerdo con los nuevos conocimientos científico-técnicos y con la experiencia acumulada en las últimas décadas de aplicación de los métodos clásicos de eliminación, tanto el depósito en vertederos como la incineración están resultando mucho más problemáticos a largo plazo de lo que se creía.

A estas consideraciones tenemos que añadir que la actividad económica humana se basa en la explotación de los recursos naturales, definiéndose éstos como aquellos bienes de la naturaleza potencialmente útiles para el hombre(Alcaide Tur, 2012).

La gestión integral de los residuos municipales puede simplificarse según el esquema siguiente (figura 1.3):

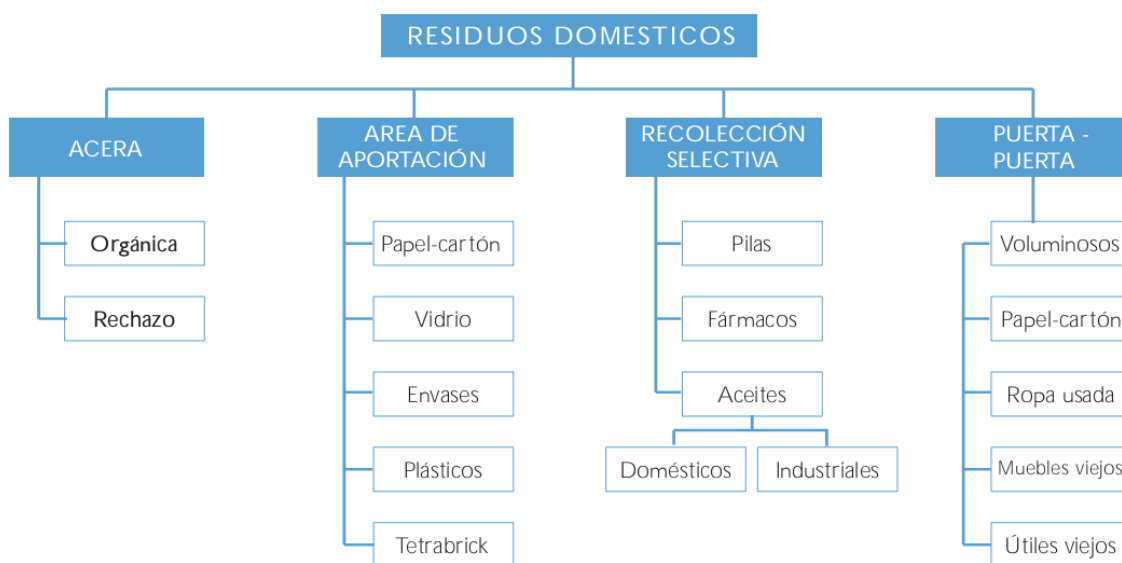


Figura 1.3: Clasificación de los residuos domésticos. Fuente: (Casas et al., 2005).

1.3.1 Etapas de la GIRSU

El proceso de gestión por el que pasan todos los residuos es definido por etapas, que van desde la generación hasta la disposición final, como parte de un proyecto de infraestructura. La tabla siguiente refiere las etapas, subsistemas o fases que abarca la GIRSU, a partir de los criterios de varios autores.

Tabla 1.1. Etapas de la GIRSU definidas por varios autores

Etapas	Fuente
1. generación 2. recolección 3. transferencia 4. transporte 5. tratamiento 6. disposición final	(Avedoy, 2006)
1. recolección 2. almacenamiento 3. transporte 4. tratamiento 5. disposición final	(Frade et al., 2013)
1. recolección 2. transporte 3. aprovechamiento 4. tratamiento 5. disposición final	(Beltrán Vila, 2014)

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas en la tabla.

Los nombres de las etapas de la GIRSU difieren de un autor a otro; incluso, la cantidad de etapas también es variable en muchos casos. Sin embargo, se puede afirmar que en todos los casos abarcan el ciclo de los RSU desde que se producen hasta que llegan a su destino final.

Por lo tanto, considerando los criterios de los especialistas y lo antes mencionado, se eligen como las etapas de la GIRSU a tener en cuenta en la presente investigación las siguientes:

Etapa 1: Generación

Etapa 2: Recolección y transporte

Etapa 3: Tratamiento

Etapa 4: Disposición final

Generación:

La generación es la acción de producir residuos como consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre, ya sea residencial, comercial, industrial, etcétera. Así, la generación de residuos en hogares resulta del consumo cotidiano y deriva en la disposición inicial de residuos que en cada domicilio se realiza al extraerlos para su recolección.

Recolección y Transporte:

Consiste en recoger los residuos dispuestos en los sitios indicados (puerta de hogares, contenedores, puntos verdes, etc.) y su carga en los vehículos recolectores para llevarlos a la planta de separación y transferencia o al relleno sanitario.

La recolección podrá ser:

- General: sin discriminar los distintos tipos de residuos.
- Diferenciada: discriminando por tipo de residuo en función de su posterior tratamiento y valoración.

Tratamiento

Esta etapa abarca todos los procesos que ocurren en la planta de tratamiento. Por medio de ellos los RSU son valorizados o tratados para disminuir los daños ambientales que puede generar su disposición final y reducir el consumo de recursos no renovables.

Los procesos en esta etapa pueden ser:

- Mecánicos: clasificación, trituración, compactación.
- Térmicos: incineración y pirolisis.
- Biológicos: compostaje, estabilización biodigestión, etc.

Disposición Final

La Disposición Final es la última etapa en el manejo de RSU y comprende al conjunto de

operaciones destinadas a lograr el depósito permanente de los residuos sólidos urbanos, es decir los residuos rechazados que no se recuperan para reciclar.

En oposición a la práctica de arrojar en forma descontrolada los residuos en basurales a cielo abierto, el Relleno Sanitario constituye la solución que contemplando principios de ingeniería sanitaria permite la adecuada disposición final de residuos a fin de evitar riesgos a la salud pública y el ambiente(Unicef, 2010).

1.3.2 Generación y composición de los RSU

Dentro del ciclo de gestión de los RSU la etapa donde se caracterizan los residuos específicamente es la de generación, la cuál es la actividad que comprende la producción de RSU en origen. Quienes producen o generan RSU reciben el nombre de “generadores”.

Comprende también cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, o cuando lo derrama o cuando no utiliza más un material (Casas et al., 2005).

En esta etapa, el residuo tiene nulo valor, y se encuentra en una actividad poco controlable y no es más que la producción de residuos a través del desarrollo de procesos productivos y de consumo.

Ocurre, ineludiblemente, en cada una de las fuentes generadoras; su conocimiento y análisis es determinante para facilitar las decisiones y acciones en el diseño de las etapas que le suceden. De la información confiable y frecuente sobre la generación, depende en gran medida, el éxito de la implementación de un sistema de GRSU (COMMONS and COMERCIAL, 2016).

Es común que su comportamiento esté en función de varios factores: nivel de ingresos per cápita, hábitos de consumo, educación ambiental, estaciones climáticas y prácticas ecológicas.

El volumen de RSU generado también depende de que se trate de una zona rural o urbana, del número de viviendas generadoras de residuos residenciales, así como del número y tamaño de establecimientos comerciales e industriales que generan residuos asimilables o domiciliarios y de la superficie de parques, jardines y áreas verdes en general.

El incremento de los volúmenes y la variación en la naturaleza de los RSU en los últimos años, está dado por las constantes modificaciones en el estilo de vida de los ciudadanos y por las

peculiaridades de cada localidad.

Para poder tener una buena gestión de los RS es necesario cuantificar la producción del día a día, conocer, en la medida que sea posible, su calidad, la cual varía dependiendo del estrato socioeconómico, la ciudad y la densidad poblacional (Frade et al., 2013).

Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es el Índice de Generación Per-cápita (IGP). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; la unidad de expresión es el kilogramo por habitantes por día (kg/hab/día).

Si se desea conocer el IGP, y las características de densidad y composición, se emplean métodos de estimación que pueden ser directos o indirectos.

Método de estimación indirecto

Los métodos de estimación indirectos consisten en medidas que permiten determinar el IGP de RS y su densidad, en base a datos globales y sin discriminaciones cualitativas. El IGP establece la proporción entre la cantidad total de residuos que se recogen y la población servida.

$$IGP = \frac{\text{Cantidad total recolectada (Kg/día)}}{\text{Población total servida (habitantes)}}$$

También se calcula por la relación entre la cantidad de residuos que llegan al vertedero y la población total servida.

$$IGP = \frac{\text{Cantidad total de residuo dispuesto en vertedero (kg/día)}}{\text{Población total servida (habitantes/día)}}$$

Método de estimación directo

Los métodos de estimación directo permiten determinar características más específicas, como la composición, para lo que se requiere seguir procedimientos de recolección de datos que ayuden a discriminar características particulares. En ese sentido, es necesario:

1. Recopilar información sobre el número de habitantes, obtener mapa de situación de la zona de estudio, ubicar las fuentes no domésticas de producción de RS, zonas e itinerarios de recogida y sitios de disposición final.
2. Seleccionar muestras estadísticamente representativas, en caso de existir diferentes estratos sociales en la zona de estudio, previendo la posibilidad de diferencias en la

composición de los residuos. A su vez, se deberán analizar muestras representativas por cada estación del año.

3. Para el cálculo de la densidad se colocarán los residuos en recipientes que permitan su manejo y facilidad de análisis. Se pesan los residuos, se mide el volumen que ocupan y se determina la relación peso/volumen.

4. Para obtener la densidad en el vehículo recolector dividir el peso de las toneladas transportadas entre el volumen que ocupan en el vehículo, esta densidad, lógicamente, debe ser mayor cuando se aplica la compactación manual o mecanizada. La densidad del residuo sobre el vertedero se obtendrá midiendo el volumen topográficamente.

Los volúmenes, densidad y composición de los RSU son datos imprescindibles para diseñar el sistema de GRSU. Esta información sirve, principalmente, de insumo para:

- Conocer la pertinencia del uso del equipamiento disponible.
- Diseñar y proyectar las necesidades de nuevo equipamiento para almacenamiento y transporte.
- Diseñar puntos de recogida por zonas.
- Diseñar rutas y cobertura de recolección por zonas geográficas, en función de la densidad de población.
- Estimar la posibilidad del reciclaje y/o tratamiento de los RSU.
- Planificar mecanismos alternativos para residuos peligrosos y/o especiales.

Es posible que los IGP calculados por ambos métodos no coincidan, en cuyo caso se deberá analizar la causa de esta diferencia y determinar si ella es ambientalmente aceptable.

Densidad (D): Estima la relación entre el peso y el volumen que ocupan los residuos en un determinado contenedor.

$$D = \frac{\text{Peso de los RS (kg)}}{\text{Volumen que ocupan en el recipiente (m}^3\text{)}}$$

(Breceda-Martos et al., 2017)

Composición física de los residuos sólidos

La composición se refiere a los componentes/materiales individuales presentes en la masa de residuos y su distribución en porcentaje, normalmente en peso. La composición depende de los factores señalados para la generación. En nuestro país, los residuos orgánicos

constituyen la fracción mayoritaria de los residuos domésticos.

Básicamente los residuos sólidos están compuestos de los siguientes tipos: (figura 1.4)

Los residuos no domiciliarios son todos aquellos que no son generados en el hogar, se generan en las industrias, comercios, actividades de construcción, agrícolas, limpieza de espacios públicos, centros de salud, electrónicos, etc. Su responsabilidad de manejo es del propio generador. La metodología utilizada para determinar estos residuos es la misma utilizada en los residuos domiciliarios.

	Componentes
1	Papel
2	Cartón
3	Residuos alimenticios (orgánicos)
4	Plásticos
5	Vidrio
6	Metales
7	Tetrapack
8	Foam
9	Gomas, caucho y cuero
10	Material electrónico
11	Telas y material textil
12	Madera
13	Pilas
14	Poda y jardín
15	Pañales
16	Otros

Figura 1.4: Composición física de los residuos sólidos. Fuente (JICA, 2017)

1.4 Metodologías para la caracterización de los residuos sólidos

La caracterización de residuos es un estudio por medio del cual se recolecta una muestra e identifica su fuente, características y cantidad de residuos generados. Esta muestra es representativa de hogares de la zona de estudio.

La caracterización de los residuos nos permite planificar las acciones para el manejo de los residuos, así como encontrar las soluciones más apropiadas a los problemas que se presentan en las operaciones básicas de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, evitando el deterioro de la calidad ambiental y la salud de las personas (López).

El diseño, implementación y gestión del sistema de gestión de los residuos sólidos en una población implica conocer características como la generación per cápita, densidad,

composición fisicoquímica, lo cual se obtiene a partir de estudios de caracterización.

No existe todavía una norma estándar que se utilice para el análisis de la composición de los residuos sólidos, en realidad existen diferentes métodos, normas y metodologías que se han implementado en los estudios de caracterización, e incluso dentro de un mismo país pueden existir varios métodos (Runfola and Gallardo, 2009a).

A continuación, se mencionan algunos métodos, normas y metodologías utilizadas para la caracterización de los residuos sólidos:

1.4.1 Métodos para determinar la generación de residuos sólidos municipales

La razón principal para medir las cantidades de residuos sólidos generadas es obtener datos que se puedan utilizar para desarrollar e implementar programas efectivos de la gestión de los residuos sólidos. No obstante, para determinar esta cantidad, existen varios métodos, entre los principales están:

-Análisis de Pesada Total:

Este método consiste en el pesaje de la totalidad de los residuos sólidos que se transporta en el vehículo recolector de una ruta determinada, cuando ingresan a la estación de transferencia, a las plantas de tratamiento, o por último al relleno sanitario. Este método también es conocido como análisis del número de cargas, donde el pesaje de los residuos se realiza mediante básculas que se encuentran a la entrada de las instalaciones en un periodo de tiempo determinado. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo y cuando sea necesario datos publicados.

-Análisis peso-volumen:

Este método determina el peso y el volumen de los camiones (cargas) que llegan a las estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y relleno sanitarios, ya que los carros son pesados a la entrada de estas instalaciones. Con base en el volumen de carga de los camiones se puede determinar el peso específico, permitiendo con éste tener una idea del tipo de material contenido en los carros, este método es muy utilizado en plantas de tratamiento de materiales de construcción y demolición.

-Análisis de balance de masas:

Es la 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(Runfola and Gallardo, 2009a).

-Análisis por muestreo estadístico:

Este método implica la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de alguna de las fuentes generadoras, durante un periodo de tiempo, determinándose de estas los pesos totales (cantidad de residuos generados) y posteriormente los componentes o clases de residuos que integra las muestras, esto se desarrolla por medio de un análisis estadístico y el número de muestras dependerá de la precisión que se quiere alcanzar, aplicándose métodos estadísticos(Güereca Hernández, 2006).

1.4.2 Normas aplicadas a la caracterización de los residuos sólidos

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada se encontró que existen algunas normas internacionales que se emplean para la caracterización de los residuos sólidos, las cuales establecen los lineamientos y control en los procedimientos, operaciones, mediciones, además que permiten llevar una estadística de la generación y composición de los residuos sólidos, destacando las siguientes:

-Normas Oficiales Mexicanas:

En México se han establecido normas técnicas para realizar la caracterización de los residuos sólidos. La NMX-AA-61-1985 se estableció para determinar la generación per cápita, a partir de la información obtenida de un muestreo estadístico aleatorio en campo, con duración de 8 días para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población. La NMX-AA-015-1985 (método de cuarteo) y la NMX-AA-019-1985 (peso volumétrico in situ) se ejecutan para la toma y procesamiento de las muestras. La NMX-AA-022-1985 (composición de subproductos) establece la selección y el método para la clasificación de subproductos, estas normas se aplican para residuos sólidos municipales.

-Reglamento de la Comunidad Europea:

El reglamento de la comunidad europea N° 2150/2002 del parlamento europeo y del concejo del 25 de noviembre de 2002, establece las estadística sobre residuos sólidos municipales, que tiene como propósito tener datos estadísticos de escala global, nacional y regional

referente con la generación, la recuperación y eliminación de residuos sólidos, del mismo modo la norma solamente plantea como se deben de documentar los datos estadísticos para ser planteado en el Eurostat, para documentar la estadística.

-Norma ASTM D-5231-92 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales):

Es el método de ensayo estándar para la determinación de la composición física de residuos sólidos municipales sin procesar, establece unos procedimientos para la medición de los residuos sólidos mediante una selección y caracterización manual, aplicada para determinar la composición media de los residuos sólidos municipales, con base en la recolección y clasificación de un determinado número de muestras en un periodo mínimo de una semana. El método establece como unidad de observación los vehículos recolectores (cargados de residuos) que llegan a un sitio de tratamiento de residuos específico (estación de transferencia, relleno sanitario, etc.) para el muestreo, teniendo de referencia el método de cuarteo, la clasificación manual se establece para un mínimo de 13 categorías de residuos, a la vez especifica cómo se debe realizar el registro de los datos y presentación de los resultados (Beltrán Vila, 2014).

-Norma Española UNE-EN-14899-2007:

Trata sobre caracterización de residuos, toma de muestras de residuos, esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo, elaborada por el comité técnico de la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR, publicada en el BOE número 79 el 02 de abril de 2007, y aprobada por la Dirección General de Desarrollo Industrial, en Resolución el 02 de marzo de 2007, plantea la importancia de los ensayos de caracterización de los residuos para la toma de decisiones adecuadas en la gestión de los residuos (Runfola and Gallardo, 2009a).

1.4.3 Metodologías propuestas por algunos organismos oficiales

Se realizó una revisión de organismos oficiales que tienen propuestas metodológicas sobre la caracterización de RSU y encontramos dos importantes organizaciones de relevancia internacional, estas son:

-Organización Panamericana de la Salud, OPS.

A través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS, plantea que para diseñar o mejorar los sistemas de manejo y tratamiento de residuos sólidos, se debe conocer las características de los mismos en relación con la generación, composición, y la densidad,

según el tratamiento que se requiera para tratar esos residuos, en tal sentido se requiere de la realización de estudios de caracterización en determinado número de viviendas. Para la de caracterización de los Residuos Sólidos, el CEPIS propone una metodología, diseñada por el Doctor Kunitoshi Sakurai en 1982, la cual se aplica en los países de América Latina y el Caribe. En función de un procedimiento estadístico determinan la muestra representativa de una población para realizar la caracterización y el proceso de validación de los datos obtenidos y el número de la muestra seleccionada.

-United States Environmental Protection Agency, USEPA.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA. La USEPA utiliza de dos enfoques metodológicos para la realización de la caracterización de los residuos sólidos urbanos, RSU una la del flujo de material y la otra, los estudios específicos de caracterización en el sitio. A nivel nacional la EPA utiliza la metodología del flujo de material que se basa en un balance de masas. Las tasas de residuos reciclados son determinadas A partir del recuento de materiales reciclables recolectados. Se calcula la cantidad de material y productos en toneladas que son generados, recuperados y desechados. Luego completa la información con los estudios específicos de caracterización en comunidades locales, que consiste en seleccionar muestras, para determinar su peso y los componentes individuales del flujo de residuos(Runfola and Gallardo, 2009b).

- En la presente investigación se decide aplicar la metodología diseñada por el Doctor Kunitoshi Sakurai y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS (2000) la cual se aplica en los países de América Latina y el Caribe. En función de un procedimiento estadístico determinan la muestra representativa de una población para realizar la caracterización y el proceso de validación de los datos obtenidos y el número de la muestra seleccionada.

1.5 Situación de los RSU en el mundo

La producción de RSU ha aumentado en todo el mundo como consecuencia del incremento de la población, las actividades humanas y el desarrollo de la tecnología. Adicionalmente, la gestión en la disposición y control de los RSU es compleja debido a la variedad y cantidad de desechos, a un sistema de recolección ineficiente, a la inadecuada disposición final, a bajos presupuestos asignados al manejo de los residuos, impactos al ambiente, falta de participación ciudadana, y a los patrones de consumo de la sociedad.

El crecimiento de los centros urbanos, y en consecuencia de la cantidad de RSU generados,

obliga a las autoridades responsables de su manejo a mejorar continuamente los sistemas de gestión de RSU y a aumentar su capacidad de gestión. Esto no sólo por los riesgos que generan los RSU mal manejados para la salud de la población y para los ecosistemas, sino también por el costo que implica para la sociedad el manejo y disposición inadecuado de los RSU (Durán et al., 2013).

El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) en América Latina y el Caribe es complejo y ha evolucionado paralelamente a la urbanización, al crecimiento económico y a la industrialización. Aunque el problema de los residuos sólidos municipales ha sido identificado desde hace varias décadas, especialmente en las áreas metropolitanas, las soluciones parciales que hasta ahora se han logrado no abarcan a todos los países de la Región ni a la mayoría de las ciudades intermedias y menores, convirtiéndose en un tema político permanente que en la mayoría de casos genera conflictos sociales (Acurio et al., 1997).

Población (habitantes)	Residuos domiciliarios (kg/hab/día)	Residuos municipales (kg/hab/día)
<15.000	0,59	0,59
15.00-50.000	0,51	0,64
Promedio pequeñas	0,54	0,62
50.000-100.000	0,55	0,72
100.000-200.000	0,59	0,79
Promedio medianas	0,59	0,75
200.000-500.000	0,68	0,88
500.000-1.000.000	0,69	0,98
Población (habitantes)	Residuos domiciliarios (kg/hab/día)	Residuos municipales (kg/hab/día)
>1.000.000	1,04	1,25
Promedio grandes	0,88	1,09

Figura 1.5: Generación per cápita promedio de los residuos de ALC de acuerdo a tamaño núcleo poblacional.

Fuente: (Beltrán Vila, 2014)

1.5.1 Marco legal

En la mayoría de los países, los temas referidos a residuos sólidos municipales y peligrosos

son tratados por varios sectores de la administración pública, tales como ambiente y salud, desarrollo urbano, comunicaciones y transportes, industrias, comercio, trabajo y otros. Además, su regulación está contenida en diversas leyes, reglamentos e instrumentos jurídicos que muchas veces se traslapan. Esta multiplicidad hace necesario que se delimite con mayor precisión el ámbito, componentes y funciones de las autoridades facultadas y que se definan mecanismos jurídicos para resolver la sobreposición de sectores, considerando el principio de que cada autoridad administrativa sólo puede hacer aquello que la ley le permite.

El régimen democrático de los países de la Región, ya sean de federales o unitarios, determina que las leyes sobre ambiente y salud sean dictadas por el Poder Legislativo para luego ser promulgadas por el Poder Ejecutivo. Además, el gobierno central o federal y los estados también norman a través de decretos y resoluciones, pero siempre dentro de lo dispuesto por la Constitución del Estado. A su vez, los municipios disponen a través de edictos y ordenanzas municipales la gestión y operación de residuos sólidos dentro de su jurisdicción (Acurio et al., 1997).

1.5.2 Tendencias en la planificación del manejo de residuos sólidos en el mundo

El manejo de residuos sólidos ha sido objeto de debate entre instituciones públicas en América Latina, pues se aspira a convertir el sector en un sistema eficiente que aporte ingresos, como consecuencia del incremento del valor económico de los residuos (reciclaje y conversión de energía). Los principios de desarrollo sostenible especificados en la Declaración de Río 1992 de las Naciones Unidas promueven la reducción, la reutilización, el reciclaje y el tratamiento apropiados a los desechos.

En otros países fuera de América Latina, las cifras de generación y disposición final de los residuos varían considerablemente. En todo el mundo, el objetivo es reducir la cantidad de desechos dispuestos en rellenos sanitarios, priorizando la reutilización, el reciclaje y el tratamiento de residuos. Un factor positivo es que las cifras de disposición sean menores que las de generación de residuos (Rosell, 2013).

En Estados Unidos la generación es 2 kg/día y la disposición 1,24. En el caso de Australia se generan 1,26 y se dispone exactamente la misma cantidad. Japón tiene una alta tasa de aprovechamiento de residuos: se generan 1,12 y se disponen 0,43, al igual que en Suiza, donde se generan 1,10 y se disponen 0,25. En la Unión Europea se generan en promedio 1,20 y se disponen 0,68.

En Europa existe un marco regulador unificado sobre manejo de residuos sólidos, con claros

lineamientos para todos los países, de acuerdo con el estatus de cada uno, del cual se derivan treinta lineamientos más específicos sobre tipos de residuos y cómo tratarlos. Entre los requisitos que deben cumplir los países se destacan los siguientes: apropiada disposición final (únicamente en rellenos sanitarios), eliminación absoluta de vertederos e inclusión de principios como responsabilidad expandida del productor (REP) y «paga como botes». Dos metas para el año 2020 son: cincuenta por ciento de los residuos sólidos deben ser reutilizados o reciclados y setenta por ciento de los residuos de construcción deben ser reciclados o tratados. Para 2020 todos los países están obligados a tener programas de prevención de residuos sólidos(Pandey et al., 2012).

1.5.3 Casos de estudios realizados en diversas localidades.

- En el proyecto “Implementación del sistema de manejo integral de residuos sólidos urbanos en el distrito de Las Lomas”, se ha identificado la necesidad de desarrollar el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos del distrito de Las Lomas – Piura ciudad de Perú, con la finalidad de determinar la composición, generación per cápita, volumen y características generales de los residuos sólidos del distrito. El estudio se llevó a cabo en el mes de noviembre del 2009 y nos permite realizar un diagnóstico ambiental del distrito, específicamente lo relacionado al manejo de residuos sólidos urbanos. Aplican la metodología propuesta por el. Sakurai y CEPCI/OPS, la cual incluye fórmulas para determinar la cantidad de la muestra representativa y con ello determinar la cantidad de residuos generados por individuo. Así mismo incluye algunos datos relevantes extraídos de encuestas a la población de interés(López).
- Se efectúa un estudio de cuantificación y caracterización física de los RSU, con el propósito de contar con información específica que permita conocer el tipo y cantidad de residuos que se recolectan en el vertedero el Iztete, de Tepic-Nayarit, México. Entre los resultados obtenidos está la generación total diaria que asciende a alrededor de 414.5 ton por día (1.09 kg/ per cápita). Con respecto a la caracterización física de los RSU se determinó, por el método del cuarteo, que la biomasa representa el mayor porcentaje de la composición física de los RSU(Saldaña Duran et al., 2013).
- En Zitácuaro, México se aplicó la NMX-AA-61-1985 que especifica el método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Esta norma parte de la división del municipio en estratos socioeconómicos, se aplica el método del cuarteo. Con los datos obtenidos en el muestreo durante un periodo de 8 días, se determinó la media del peso volumétrico

diario de cada muestra(El, 2016).

1.6 Situación actual de los residuos sólidos urbanos en Cuba.

El país no cuenta con una información actualizada de caracterización de los residuos urbanos. Los últimos informes datan de 1990, período A partir del cual se produjo un cambio general desde el punto de vista económico-financiero que incidió directamente incluso, en el tipo de residuos que hasta ese momento se estaba generando. Múltiples esfuerzos se realizan hoy día para acometer de forma integrada la actualización de la caracterización de los RSU, en una primera etapa en Ciudad de La Habana, centrando esta actividad el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y la Dirección de Servicios Comunes, con la participación de distintas instituciones, entre ellas: el Centro Nacional de Investigaciones Científicas, el Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología y el Centro de Investigaciones y Manejo de Bahías.

De acuerdo con estudios de caracterización realizados en diferentes localidades del país, los RSU están constituidos por un conjunto de materiales heterogéneos. Es por ello que se plantea la necesidad de agrupar sus distintos componentes en categorías de cierta homogeneidad para valorar selectivamente cada uno de los tipos de residuos.

La cantidad de basura generada hasta 1989, se estimó en 0,5 (kg/hab/día). Sin embargo, como bien se ha señalado, la producción ha cambiado en los últimos años, por la variación en los materiales de embalaje y otros cambios en el estilo de vida, lo que ha provocado un aumento en la generación de residuos tales como los plásticos y los metales no ferrosos como el aluminio, no cuantificados con anterioridad(Palacios et al., 2004).

En la primera mitad de la década de los noventa se reportó un cambio en la tendencia de generación de residuos sólidos, respaldada por la situación de período especial que atravesaba el país. Los estudios realizados por la Dirección de Comunes con posterioridad en el año 2000, han revelado el restablecimiento de la tendencia de generación y alertado sobre la crítica situación ocasionada por su producción y a cuya detención con nuevos enfoques de solución del problema en su origen están llamadas todas las instituciones, organismos y personas involucradas. El incremento paulatino en la generación de RSU reportada en los últimos años, sitúa a Cuba junto a países desarrollados como España, Austria, Francia, Dinamarca, Alemania y Estados Unidos, lo que, a su vez, es tomado como un índice del nivel de vida en un país.

La tendencia en el incremento de la generación de residuos es comparable con el

crecimiento de los diferentes renglones reportados. Se observa a su vez una disminución en los desechos de cuero y huesos, lo que se corresponde por un lado con la valoración de estos desechos en el origen y a la disminución de su producción por otro.

Se destaca en todo este análisis el elevado porcentaje de materia orgánica presente (por encima del 50,00 %), por lo que resulta importante su consideración (López Torres et al., 2004).

1.7. Situación de los RSU en la ciudad de Santa Clara

Lo que sucede en Cuba de manera general, transcurre en todas sus provincias y municipios. La ciudad de Santa Clara, municipio cabecero de la provincia de Villa Clara no queda ajena a los problemas descritos en el epígrafe anterior y para ello ha creado un grupo de representantes para desarrollar el proyecto antes mencionado, con el objetivo principal de caracterizar la GIRSU y determinar la generación y composición de los mismos ya que a partir de estos estudios se podrá dimensionar los demás elementos como son la recolección, transporte, disposición final y tratamientos. El presente trabajo de diploma es una colaboración con dicho proyecto.

Anteriormente a esto se han realizado estudios de generación y composición física- química en época de sequía y lluvia ya que hay que tener en cuenta estos dos momentos porque influyen en tipo y cantidad de residuos sólidos. Los resultados de estas investigaciones y cálculos han ayudado en este proyecto a realizar una caracterización preliminar de la GIRSU y a cómo efectuar cada paso para el cálculo de la generación y composición de la ciudad para luego propagarse en los diferentes municipios de la provincia Villa Clara.

1.8 Conclusiones parciales

1. Las GIRSU está dirigida a disminuir los residuos generados como medio idóneo para reducir los impactos asociados por ellos, en función de esto es necesario realizar estudios de generación y composición ya que los mismos permiten la planificación técnica y operativa del manejo de los residuos como lo es la disposición inicial, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.
2. La generación y composición de los RSU son influenciados por factores como las estaciones del año, condiciones hidrológicas, los propios hábitos de la población, así como acontecimientos especiales y las actividades y condiciones socioeconómicas en general.
3. La literatura consultada proporciona varios métodos, metodologías, procedimientos y

normas utilizadas para la caracterización de los RSU. En función de las peculiaridades del territorio se utiliza la propuesta por el Dr. Sakurai y CEPIS/OPS, ya que es el que se utiliza en regiones de Latinoamérica que no cuentan con estudios previos. En función de un procedimiento estadístico determinan la muestra representativa de una población para realizar la caracterización y el proceso de validación de los datos

obtenidos y el número de la muestra seleccionada.

Capítulo 2: Aplicación de la metodología para la caracterización de RSU en el municipio de Santa Clara

2.1. Introducción

Con el fin de conocer las características de los RSU se toma como base la metodología desarrollada por (Sakurai and CEPIS/OPS, 2000), la cual se ha venido aplicando en países con las particularidades de Cuba, realizándole modificaciones necesarias de acuerdo con las peculiaridades del municipio objeto de estudio. Este capítulo está estructurado en dos partes: la primera contiene las generalidades sobre la situación de los residuos sólidos y su gestión en la ciudad de Santa Clara, la segunda la metodología a aplicar para la realización de dicho estudio, y su aplicación con los datos obtenidos.

2.2. Caracterización preliminar de la gestión de los RSU en el municipio de Santa Clara

Para comenzar un estudio de caracterización es necesario conocer la situación actual de la ciudad objeto de estudio, por lo que en este epígrafe se realiza una caracterización preliminar de la gestión de los RSU en la ciudad de Santa Clara, donde a partir de información recolectada por trabajadores entrevistados, datos analizados, observación directa se pudo obtener datos de la situación económica, geográfica y social de la ciudad, para poder así conocer las condiciones de las operaciones básicas a las que es necesario dar solución como son: el almacenamiento, la recolección y transporte, tratamiento y la disposición final. Además, de ser el punto de partida para emprender una metodología de caracterización que nos permita conocer los índices de generación y composición de los residuos.

2.2.1 Datos generales de Santa Clara

Santa Clara, situada en la provincia de Villa Clara, Cuba. Con una extensión superficial de 668,82 Km² y posición aproximada dada por el punto de confluencia de las coordenadas geográficas 22°.03'.00" de latitud Norte y 79°.57'.00" longitud Oeste, posee una temperatura media de 23.96°C y una precipitación de 1311 mm, la humedad relativa estriba alrededor del 81.2%. Entre las urbes cubanas, Santa Clara, estaba considerada entre las de mejores resultados higiénico-sanitarios, no obstante, los problemas económicos enfrentados por el país y con ello la falta de recursos técnico-materiales ha provocado problemas que es preciso enfrentar.

La población del municipio de Santa Clara es de 244 331 personas (a partir del anuario estadístico del 2015), de estas la población urbana es de 222 739 habitantes, para un 91,1%

del total del municipio. Posee una tasa de crecimiento anual de 2.65 por mil habitantes. Se caracteriza por una población flotante numerosa, por ser un centro de servicio indiscutible en el territorio, posee la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas donde se albergan personas de gran parte del país, además los hospitales Provinciales, el Instituto Preuniversitario de Ciencias Exactas IPVCE Ernesto Guevara de la Serna, la universidad pedagógica y otras escuelas de cultura y deporte que albergan y reciben estudiantes y trabajadores de todas partes de la provincia y de fuera de esta en su capital; además el Mausoleo al Guerrillero Heroico, La Plaza del Che, o el Tren Blindado, sitios que son visitados diariamente por gran número de turistas que luego permanecen en la ciudad realizando otras actividades.

2.2.2 Generación de los RSU

Los datos estadísticos de la Empresa Provincial de Servicios Comunes de Villa Clara (EPSC.VC) figuran que se le presta servicio de recogida de RSU a 220 916 habitantes hasta el año 2018 y por datos recogidos de la sala de análisis de la entidad mencionada se muestra que en la ciudad se recogen aproximadamente $1623,0 \text{ m}^3/\text{día}$, teniendo muy poca o ninguna segregación inicial por lo que se mezclan tanto en el almacenamiento inicial como en la transportación y en su disposición final. Estos datos detallan que los RSU tienen su origen en los sectores: domiciliario (el 82.3%), hospitalarios (0,1%) y la industria (16,6%).

Para resumir el comportamiento de la cantidad de residuos que entran en el vertedero se debe aclarar que se tiene en cuenta la población que refiere comunales recibe el servicio (220 916 habitantes), se toman los datos de recepción del vertedero asumiendo que todos los desechos depositados fueron generados por el sector residencial cuando en realidad se recogen residuos de otras instituciones.

Siendo así, se efectúa el análisis para obtener datos aproximados, el cual da como resultado que, en el 2016 se generan 0,969 kg/diarios per cápita aumentando en un 6,91% con respecto al 2015. En el 2017 1,05kg/diarios per cápita aumentando en un 7,71% respecto al año anterior. Durante el año 2018 en Santa Clara se generaron 96725 toneladas de RSU, lo que equivale a 1,08 kg/hab/día y representa un aumento en un 2,77%.

Tabla 2.1: Resumen de la recogida de los RSU en los últimos 4 años.

Año	2015	2016	2017	2018
Viajes totales	18986	18736	15797	18540
Toneladas totales	72751,17	78387,02	74255,933	96725
m ³ totales	436507	470322,2	445535,6	580446,7
Viajes promedio	52	52	43	51
Toneladas Promedio/día	202,086	217,741	206,266	265
m ³ promedio/día	1212	1306	1237	1590,2
kg/hab/día	0,902	0,969	1,05	1,08

Fuente: Elaboración propia a partir de datos ofrecidos por la Dirección Provincial de Servicios Comunes de Villa Clara.

Luego de esto se puede apreciar que son índices de generación muy altos para las características que presenta la ciudad, estos índices son generados por países desarrollados, donde Cuba no se incluye; además de que se encuentran alterados por roturas en la báscula del vertedero, dato proporcionado por trabajadores entrevistados, y que ellos mismos favorecen en mayor cuantía, pues su salario es por resultados.

Por la anterior planteado se ratifica la necesidad de llevar a cabo un estudio de caracterización de los RSU en Santa Clara, siendo esta la forma de conocer los índices de generación y composición de los residuos con menor margen de error.

2.2.3 Recolección y transporte

En pos de facilitar el servicio de recolección de RSU la ciudad se ha dividido en doce zonas comunales integrando cada uno de los consejos populares del municipio (anexo 1). Para esto se toma como criterio el número de habitantes y la cantidad de RSU que se generan en sus límites. En cada zona se realiza la recolección con una frecuencia de tres veces por semana, exceptuando la zona central, comercial, zonas de edificios de apartamentos e instituciones hospitalarias, a las cuales se les presta el servicio diariamente en jornada diurna y nocturna, aunque se encuentra organizado, en la práctica no sucede siempre así por

roturas de equipos o falta de combustible.

Los métodos de recolección empleados en la ciudad son:

Método de Esquina o de Parada Fija: se utiliza en lugares donde el carro no puede entrar por las dimensiones del mismo o por obstrucción de la calle, o para acumular los residuos cuando la frecuencia de recolección no es diaria, se saca la basura hasta un lugar predeterminado como esquinas, supiaderos o contenedores, y la recoge el transporte empleado, tiene la dificultad que cuando el mismo falla esta se acumula hasta el otro día afectando la higiene del lugar.

Método de Acera: es el personal del servicio el que retira los receptáculos de las aceras, es eficaz, tiene la desventaja de que cuando falla el sistema, la basura esta regada en menor proporción con respecto al anterior sistema.

Microvertederos ilegales o clandestino: no existe sistema sobre los mismos pues son producto de las indisciplinas sociales y de fallas del sistema de recogida de servicios comunales. La recolección de los micro vertederos ilegales es aceptable y el costo es alto, pues se necesita del alquiler de equipos de carga para su trasiego.

En el anexo 2 se puede observar de cómo se desarrolla la actividad de recolección pudiéndose apreciar las malas prácticas empleadas, las cuales influyen en el deterioro de la actividad de gestión de los RSU, por causas como la mala preparación o la carencia de recursos, lo cierto es que funciona como catalizadores de contaminación del medio ambiente y la proliferación de enfermedades afectando la salud de la población en general.

Caracterización del servicio de barrido:

El barrido de las calles se realiza de forma manual con fuerza de trabajo humana y se aplica en todas las calles que estén aptas para ello, además se barren parterres, plazas públicas, aceras, calzadas y portales donde no exista colindancia utilizando escobillones, recogedores y palas, así como: azada, machetes u otro instrumento para eliminar las hierbas de los contenes. Se debe usar una carretilla o similar habilitada con tanques o sacos para ir depositando los RS que se van recogiendo. Está organizado por zonas, que estarán divididas de acuerdo a la cantidad de m² establecidos a barrer por cada trabajador.

La aplicación de una u otra forma del barrido está en dependencia del estudio que se realice con relación a la importancia de las vías o puntos focales; afluencia de público; existencia de unidades de comercio, gastronomía y servicios; importancia político social del área o

intereses particulares de la localidad o municipio:

Barrido Simple (una vez al día) en aquellas vías no principales

Barrido Doble (dos veces al día): en aquellas vías principales de la localidad

La forma que se implementa la Recolección y Transporte, está fuertemente ligada o condicionada por los comportamientos a nivel domiciliario y de pequeños comercios (volúmenes generados, preclasificación, horarios, etc.) y al tratamiento posterior de los RSU recolectados.

El procedimiento de recogida comienza con la distribución de los carros que existen en dependencia de las zonas más atrasadas, dándole prioridad por orden descendiente a:

1ro. Zona # 1(Consejo Centro)

2do. Zona # 5(Zona Hospitalaria)

Luego la distribución de carros está en dependencia de las necesidades que existan en el momento y no siguiendo un procedimiento lógico de la recogida.

En el Consejo Centro existen dos recogidas una que comienza a las 6.00 am y la otra a las 7.00 pm, las dos consisten en recoger la basura que la población dispone en la acera fuera de sus casas dos horas antes del comienzo de la misma.

En el caso del resto de las zonas el principio es el mismo, con la diferencia que los edificios multifamiliares se recogen en supiaderos o estaciones de transferencias rudimentarias.

El transporte de los residuos se realiza mediante diferentes tipos y formas de vehículos que son principalmente vehículos compactadores de carga trasera, camiones abiertos y carretas de tracción mecánica y animal. El municipio en el año 2018 para la transportación de los RSU cuenta con los equipos que se muestran a continuación.

Tabla 2.2: Equipamiento existente para el sistema de gestión de los RSU 2018.

tipo de carro		cantidad existente	cantidad trabajando	capacidad (toneladas/viaje)
Dongfeng	colectores	3	4	10,3
	Ampliroll	1		
Howo	especializad	2	4	2,7

	o			
	Ampliroll	2		
Zil 130		3	0	3.2
Tractor	Belarus	3	13	6
	Yun	3		
	80cv	1		
	Yto	6		
cargador		3	2	
Barredora		1	0	
Buldócer		2	2	
pipa de agua		1	1	

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo3 se pueden observar los diferentes medios de transporte que a continuación se explican.

Vehículos motorizados:

-Carros especializados o compactadores de carga trasera: propios de la actividad, poseen la característica de que su carga es trasera en los cuales la carga de desechos se hace a través de una tolva que se encuentra ubicada en la parte posterior de la carrocería.

De estos carros hay uno que realiza la recogida especializada de los hospitales y luego trabaja en la zona comunal del Consejo Centro, los demás carros trabajan en una zona comunal y cuando terminan la misma, concluye la labor del carro.

-Carros abiertos de volteo: no propios de la actividad. Estos carros poseen aditamentos para que el tirador descanse cuando no tenga basura que recoger, el traslado lo tienen que hacer agarrados corriendo gran peligro.

Poseen muy baja disponibilidad técnica. Fundamentalmente trabajan en la recogida de la miscelánea de la zona 1 por la mañana y en la circunvalación de la ciudad.

-Carretas tiradas por tractor: estas carretas trabajan con un tractor, no propio de la actividad de traslado, lo que dificulta la labor como tal.

A todo lo anterior expuesto se le agrega que estos carros en ocasiones son autorizados para otras funciones por la dirección de la empresa. En sentido general el aprovechamiento óptimo del uso de los carros en funciones de la recogida de residuos sólidos es deficiente, teniendo en cuenta que cada zona comunal necesita dos carros para la misma. También la poca disponibilidad de combustible para desempeñar la actividad, la falta de piezas de repuesto y el mal aprovechamiento del uso de los mismo, se evidencia entonces un bajo nivel de servicio al cliente ya que se produce incumplimiento en el mismo y se aumenta la frecuencia de recolección hasta una vez por semana en algunas zonas.

2.2.4 Tratamientos

La técnica que se aplica generalmente para el tratamiento de los residuos en su disposición final es el relleno sanitario. Este es un método de disposición de los desperdicios sobre la tierra sin crear incomodidad, peligro para la salud y la seguridad pública con el objetivo de confinar los desechos en un área y volumen reducidos cubriéndolos con una capa de tierra al concluir un día de operación o a intervalos menores, de ser necesario.

En la ciudad de Santa Clara no existe una planta de tratamiento para los residuos; además en esta etapa no se realiza la selección y separación de los residuos. Cabe destacar que de cierta medida se recicla algunos residuos por los llamados buzos y chatarrero que se dedican a la recolección de materias valiosas de los residuos sólidos para luego venderlos y poseer un beneficio propio. En conclusión, no se aplican tratamientos a los residuos, pues todos los desechos se llevan mezclados a un vertedero final.

2.2.5 Disposición final

En la ciudad de Santa Clara se realiza la disposición final en el vertedero municipal el cual es convencional mecanizado, anteriormente existían otros vertederos no legalizados, los cuales fueron desactivados

Vertedero municipal: Se encuentra ubicado en las coordenadas 220.03'.00" de latitud Norte y 790.57'.00" de longitud oeste al suroeste de la ciudad, a 2 Km aproximadamente del límite urbano más cercano, su acceso principal es la carretera a Manicaragua con un recorrido aproximado de 3 km y la distancia media a las zonas comunales es de 15,33 km.

Tiene más de 35 años de explotación y cotas de residuales de hasta 15 metros, con tratamiento diario, aunque la baja disponibilidad de equipamiento propio y el déficit de combustible hacen que se incumpla el mismo.

La técnica que se aplica generalmente en este vertedero es el relleno sanitario y el método que se utiliza es el de trinchera, generalmente no se cumple con las condiciones requeridas por la disposición ya que no está impermeabilizado y además no se realiza el recubrimiento de los residuos con tierra luego de depositarlos en la trinchera.

La falta de cobertura periódica en la recolección y transporte, además de la exposición al aire libre de la basura, da lugar a que aparezcan las moscas, ocasionando el malestar pertinente, se sienten malos olores cuando ocurre la combustión espontánea de la basura, se quema el plástico, trapo, papeles, etc. provocando que los mismos y el humo en ocasiones lleguen a la ciudad.

Disposición de los Residuos Sólidos Peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos generados por todas las entidades de salud son dispuestos en una trinchera independiente en el vertedero municipal, con tapado manual diario, en cambio los productos químicos ya caducados son manipulados por las propias entidades que los generan y ello es supervisado por el CITMA.

También es necesario destacar que existen micro vertederos ilegales, Comunes tienen identificado algunos sitios reiterativos donde se arrojan basura según las zonas en las que se encuentran.

2.3. Procedimiento para el estudio de caracterización de los RSU

Es una herramienta que contiene los pasos para la planificación, diseño y ejecución de un estudio de caracterización de los RSU en la ciudad de Santa Clara, además de que se obtiene información primaria relacionada con las características de los RSU, como son: la cantidad de residuos, densidad, composición y humedad y esta información permite la planificación técnica y operativa del manejo de los RS.

Luego de consultada la bibliografía y analizado cada uno de las metodologías y procedimientos que se aplican en el mundo, para la realización del estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios en el municipio de Santa Clara se ha seguido los siguientes pasos, según la metodología descrita el Dr. Sakurai y CEPIS/OPS.

Paso 1: Zonificación del distrito

La zonificación distrital permite determinar áreas homogéneas o con características similares y delimitarlas gráficamente con fines de planificación.

Considerando la situación particular de los requerimientos de la caracterización de los residuos sólidos en Santa Clara, en cuanto a que los hábitos de consumo, ingresos económicos, la dinámica de la población flotante en la ciudad, las características del servicio de recogida, nivel de urbanización, se opta para determinar el tamaño de la muestra por el muestreo estratificado, porque se considera que existe una variabilidad de los residuos generados dentro de las categorías, este método además de tener en cuenta el tamaño de los estratos, también involucra la dispersión de los datos dentro de cada estrato, además de que es el que se utiliza en todos los estudios de este tipo.

A través del muestreo aleatorio estratificado los elementos de la población se agrupan con base en la homogeneidad de algunas de las características mencionadas anteriormente (hábitos de consumo, ingresos económicos, servicio de recogida, nivel de urbanización, vegetación, barrios, etc.), las mismas son llamada variable de estratificación, formando los estratos, los cuales son homogéneos dentro de sí y mutuamente excluyente con los demás estratos.

El estudio de caracterización de los RSU en la ciudad se divide por estratos de condición socioeconómica A, B y C, en cada uno de los estratos se determina las unidades de muestra que tengan similares condiciones de situación socioeconómica, los cuales están definidos de la siguiente manera:

Estrato A:

El estrato A que abarca el consejo popular centro, esta zona se diferencia en gran medida de todas las otras, pues es donde se encuentran la mayor cantidad de tiendas recaudadoras de divisas y de productos industriales, paladares, cafeterías, restaurantes, bares y centros recreativos de manera general en el municipio, por lo que se pudiera considerar que esta zona como la más comercial, debido a todos estos establecimientos hay una mayor generación de latas, botellas, cartones, papeles, nylon, sancocho, entre otros tipos de residuos, que en el resto de las zonas. También se localizan ahí una gran cantidad de entidades, oficinas de trámites, centros de trabajo, por esto y lo antes expuesto se puede decir que cuenta con población flotante estimada por el anuario estadístico de 24383 habitantes, cuantía considerable para este tipo de estudio. El centro de la ciudad también es el área más urbanizada de la misma, por lo que no genera residuos de áreas verdes prácticamente, aunque si muchos escombros pues tiene en reparación por la antigüedad de la localidad muchas casas particulares, entidades estatales, parques, además de la

construcción de nuevos lugares, lo que hace que se pueda ver como otra característica en la generación diferente del resto. Otro factor a tener en cuenta es la frecuencia de la recogida, por ser la cara del municipio en esta parte se brinda este servicio por parte de la empresa de comunales dos veces al día, todos los días de la semana, no siendo así en los otros segmentos.

Estrato B:

Este grupo se define como las zonas que se encuentran dentro de los límites de la circunvalación, pues ellas son las más urbanizadas luego del centro de la ciudad, también tienen como promedio mejor nivel económico por lo que cuentan con un mayor poder adquisitivo que las que están fuera de la circunvalación. La recolección de la basura en casi todos los barrios de estas zonas es a través del método de la esquina o puerta a puerta y los que no es de esta forma se usan contenedores plásticos y camas ampiroll, lo que hace que el almacenamiento in situ sea casi siempre en bolsas de nylon y esto ayuda en gran medida a la clasificación de los residuos para su posterior disposición. La frecuencia de recolección de estas zonas está planificada para que sea tres veces a la semana en días alternos

Estrato C:

Se encuentra a las fuera de la circunvalación, incluso la incluye. Esta parte del territorio al ser más rural sus hábitos de consumo son bajos, ya sea porque tienen menor nivel socio económico o porque cuentan con pocos lugares donde adquirir productos, además tiene una generación de áreas verdes considerablemente mayor que el resto. Los depósitos son supiaderos, vertederos no convencionales, a cielo abierto inclusive vertederos ilegales. También es conveniente mencionar que la zona industrial se encuentra localizada aquí, por lo que tienen desperdicios de otros tipos. Muchas de estas industrias se encargan ellas mismas de llevar sus desechos al vertedero y no utilizan el servicio de comunales, otras tienen contratos con la entidad o arrojan la basura en los supiaderos que utiliza la población. Otra característica distintiva de este grupo definido es la recolección que en primer lugar como ya se mencionó se hace en supiaderos, vertederos no convencionales o ilegales y en algunos lugares, aunque son los menos, también se utilizan contenedores plásticos y camas ampiroll. Al ser el almacenamiento de esta forma y la población tener como promedio menor nivel económico casi todos vierten la basura sin bolsas lo que hace que se mezcle en mayor medida y sea más difícil de clasificar. La frecuencia de recogida también es menor, incluso en ocasiones cuando hay roturas en el parque de equipos que prestan el servicio, se hace

esporádicamente y la población quema la basura. Además, también las distingue que la mayoría de estos barrios el servicio de recogida se hace a través de carretas incluso carretones por la falta de equipos y estar menos priorizados.

Con la información proporcionada por el Anuario Estadístico del 2015 de la ciudad de Santa Clara, los estratos anteriormente identificados se localizan en la Figura 2.1 a través del software QGIS, así como sus Consejos Populares.



Figura 2.1: Estratos. Rojo: A, Verde: B, Azul: C. Escala 1:100.412. Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Determinación de la población actual

En el herramental analizado se define la población como las viviendas presentes en un estrato, de esta forma se realiza el muestreo en las residencias, lo que proporciona una información más detallada de lo que las personas generan en cada domicilio, ya que la segregación sería desde el inicio, para ello es necesario conocer datos básicos, tales como número de viviendas, número de habitantes, etc. La información más detallada donde se podrían relacionar los datos se toma del Censo de Población y Viviendas del 2012.

Es necesario mencionar que se realiza un primer cuarteo de prueba solo en la zona Centro y con la experiencia adquirida del mismos rediseñan algunos aspectos para la presente investigación, en la cual como se menciona anteriormente se toman muestras de cada uno de los estratos determinados. Las muestras seleccionadas son en los consejos populares del Centro, Virginia, José Martí y Antón Díaz, aunque todos pertenecen al asentamiento número 1, clasificado como urbano, mientras más alejados del centro de la ciudad más características rurales presentan los barrios, en el último estrato se seleccionan muestras de

dos consejos populares ya que José Martí a pesar de quedar fuera de los límites de la circunvalación es un reparto con edificios multifamiliares lo que aportaría información de cómo se comporta este tipo de barrios y en Antón Díaz se encuentran las particularidades de zona rural.

Tabla 2.3. Datos de los Consejos Populares necesarios para la aplicación del muestreo.

Consejos populares	Área (km ²)	Vivienda particular	Habitantes
Antón Díaz	54.190	2870	9179
José Martí	9.025	5307	14436
Virginia	1.219	5415	15225
Centro	1.298	9101	24383

Fuente: Censo 2012 ONEI

Con los datos de la tabla anterior se puede calcular la densidad poblacional (gráfico 2.1) donde se aprecia que mientras se alejan del centro de la ciudad disminuye, y con esta los rasgos que caracterizan la urbanización.

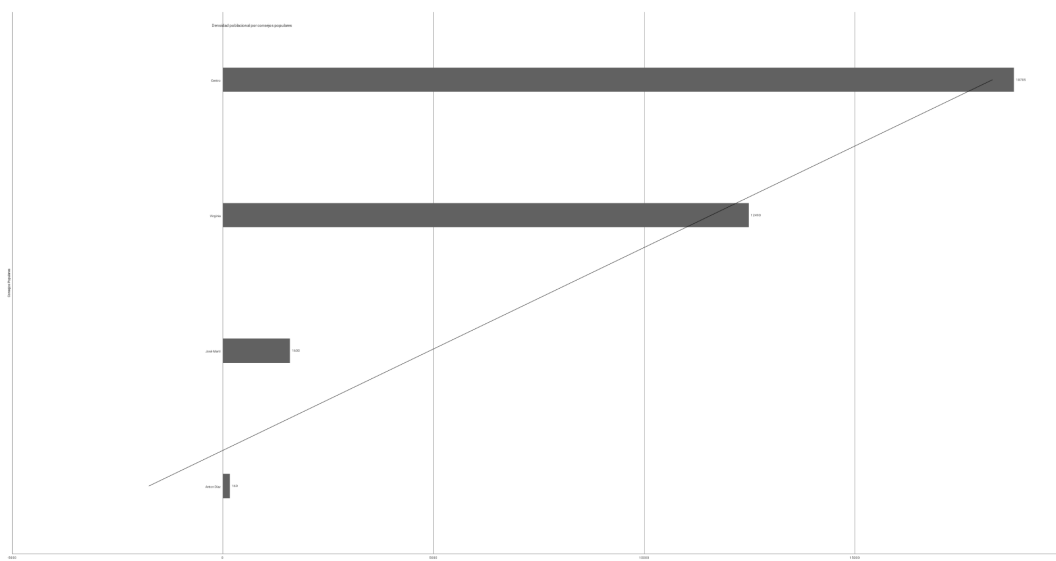


Gráfico 2.1: Relación de área y cantidad de habitantes por Consejo Popular muestreado.

Fuente: A partir del Censo de población y vivienda del 2012-ONEI.

Paso 3: Distribución de encuestas por Zonas (en la adecuación de la metodología para Santa Clara no se realizan encuestas)

Paso 4: Determinación del número de muestras

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y la Organización Panamericana de la Salud emplean la fórmula para hallar el tamaño de muestra a partir de la desviación, dando muestras para diferentes posibilidades de variabilidad y se determina la desviación estándar que se debe utilizar si no se tienen estudios previos y en el muestreo se realiza en la fuente generadora, siendo esta última de 200g/hab/día y fijando un error de 50 g/hab/día(Sakurai and CEPIS/OPS, 2000). Además, establecen una tabulación (tabla 2.4), en la cual se puede ver que al emplear la desviación recomendada el número promedio de viviendas a muestrear sería desde 55 hasta 62 aproximadamente dependiendo de la cantidad de viviendas que formen la población objeto de estudio y con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2.4: Determinación del número de muestras.

Cantidad de viviendas	Desviación estándar* de las muestras del estrado en cuestión (g/hab/día)				
	50	100	150	200	250
500	3.8	14.9	32.3	54.7	80.6
1,000	3.8	15.1	33.4	57.9	87.6
5,000	3.8	15.3	34.3	60.7	94.2
10,000	3.8	15.3	34.5	61.1	95.1
Más de 50,000	3.8	15.4	34.6	61.4	95.9

* Desviación estándar de variable Xi (Xi = PPC de la vivienda i)

Fuente:(Sakurai and CEPIS/OPS, 2000).

Se decide, atendiendo a la metodología, muestrear aproximadamente 60 viviendas por CP, pero solo 207 viviendas pudieron ser concientizadas, de las cuales participaron durante los 5 días de muestreo un promedio del 58 % aproximadamente (120 viviendas).

Paso 5: Determinación de las zonas representativas

Una vez determinado el número de muestras por zonas representativas, se tienen que elegir los lugares del distrito donde se va a tomar las muestras, identificando las manzanas y las viviendas con las que se va trabajar.

Previo a la determinación zonas, se desarrolló reuniones de coordinación e información con

el jefe de proyecto, y con la dirección de Servicios Comunes del municipio. Es importante señalar que se realizó también una visita de campo a las zonas pre-seleccionadas con el objetivo de definir in situ las zonas de muestreo y verificar la habitación del inmueble. Esta labor se realizó cinco días antes del desarrollo de los trabajos de campo, en compañía del jefe de transporte de Servicios Comunes, el Supervisor del Proyecto y el jefe de cada una de las zonas seleccionadas.

Existen varias posibilidades para escoger la unidad de muestreo: pueden ser viviendas tomadas aisladamente, viviendas que vivan en una cuadra, manzana o barrio. En este caso se eligen viviendas consecutivas en algunas cuerdas de cada zona dependiendo el recorrido del camión y la forma más sencilla de llegar a la Empresa Recuperadora de Materias Primas, lugar donde se realiza el cuarteo. Se decide que el punto de partida es la esquina de calle Berenguer y la calle Máximo Gómez, dirigiéndose por Berenguer, hasta la calle Esquerra, se dobla a la derecha concluyendo en la esquina de la calle Padre Tudurí, (Consejo Centro). Luego se traslada hasta el reparto Virginia, donde se tomaron la calle General Mariño comenzando en calle Oquendo y terminando en calle Caridad. En José Martí se eligen los edificios de la manzana 8 desde el 62 hasta el 65. En Antón Díaz se inicia en la Gomera desde la esquina de calle 4ta y calle B, por B hasta calle 2da, doblando derecha hasta calle C. Este recorrido se puede detallar en el anexo 4.

Paso 6: Sensibilización y capacitación de la población seleccionada (a diferencia ellos aplican encuesta)

Los responsables del proyecto con la ayuda del presidente de los CDR se deben reunir con la población que habitan en las manzanas escogidas para el estudio de cada estrato, así se podrá explicar todo el procedimiento a seguir, donde los habitantes no deben cambiar sus costumbres o rutinas diarias del hogar y tienen el deber de votar la basura a la hora prevista para la recogida diaria de la misma hasta concluir con el pronóstico de los días a muestrear.

-Los responsables del estudio de cada área (Supervisores) serán designados por el jefe del proyecto de GRSU. Los supervisores prepararán adecuadamente al resto del personal que estará bajo control, además controlarán que se cumpla con todas las indicaciones de cada área de estudio. Los supervisores se designarán en dependencia de las áreas de estudio.

-Concientizar al personal encargado de la recogida de los residuos de no sustraer nada de los mismos para que los resultados sean reales.

-Disponer de una báscula certificada, ya sea propia o contratada, para el pesaje de los

equipos.

-Definir los equipos (camión colector, tractor, ampiroll, etc.) a utilizar en el estudio y los de reserva, los cuales deben estar en buenas condiciones técnicas para evitar interrupciones. Los equipos y medios de transporte tienen que ser tarados.

-Precisar los medios de protección necesarios para el personal en todo el desarrollo del estudio, así como las herramientas e insumos.

Según lo planificado se logra transmitir la información del ejercicio a todos los habitantes que fueron objeto de estudio, además se participa, explicando la tarea, en el programa Buenas Nuevas de Telecubanacan el martes 6 de noviembre el 2018. También se emite una nota, firmada por el vicepresidente del Asamblea Provincial del Poder Popular que atiende el grupo de trabajo, para que se difundiera la noticia en la radio a partir del miércoles 7. Se contrata con Geocuba la impresión de Boletines los que fueron entregados en las reuniones que se realizan en los CDR seleccionados para el estudio (las mismas fueron dirigidas por personal de la ERMP VC y la FIMI de la UCLV). Los intercambios con los pobladores se comienzan a realizar entre 8:00pm y 8:30pm, a partir del jueves 8 hasta el sábado 10 de noviembre, según las posibilidades de cada CDR se planifica el encuentro, durando aproximadamente 30 minutos de forma muy fructífero, logrando concientizar a gran parte de la población de cada Consejo Popular. Se reparten jabas de nailon, dando 14 para cada vivienda, para poder realizar la separación en el origen entre los desechos en orgánicos e inorgánicos (se explica en el boletín), así ampliar la cultura de la población, adentrarse en su preparación y conciencia en el tema del manejo de RSU, facilitar también el procedimiento de clasificación.

- Disponibilidad de equipamiento

Se dispone de un tractor con carreta (capacidad 4t) para la recolección de la muestra, que según se pronostica como máximo se recogerán 800kg, para lo que existía entonces un superávit de capacidad. Se colocan contenedores plásticos (proporcionados por la subdirección de higiene y necrología de comunales municipal), para diferenciar desechos según tipo y procedencia (orgánico e inorgánico por cada Consejo Popular).

Paso 7: Toma de muestras

Se recogen las muestras en cada una de las viviendas a partir de las ocho de la noche del día 12 (lunes) hasta el 16 (viernes) de noviembre. Finalmente se realizan modificaciones leves en

el recorrido debido a la colaboración de presidentes de CDR y personas que residen en el área. El día 10 (sábado) y 11 (domingo) de noviembre, se realiza el llamado “plan tareco” para preparar las zonas, donde se recoge a partir de las 10 de la mañana todo aquello de lo que se querían deshacer los ciudadanos que participaron, para dejar sus viviendas limpias de residuos y preparadas.

La muestra se clasifica, haciéndolo así hasta la muestra del viernes 16 de noviembre; las mismas se vierten en un área pavimentada y techada dentro del perímetro de la nave de peletizado en la ERMP VC. Para ello se establece una la frecuencia de recogida nocturna, tardando aproximadamente dos horas, se desarrolla el ejercicio de clasificación y demás pruebas en las primeras horas del día posterior, durante dos horas y media aproximadamente y comenzando entre ocho y nueve de la mañana. Se entregan como medios de protección guantes y nasobucos. El Centro de Negocio del Grupo Empresarial de Reciclaje diseñan modelos de registros los cuales se emplean para la investigación.

Paso 8: Determinación de la generación per cápita

Con los datos registrados y sobre las bases del número de habitantes por viviendas se determina la cantidad de habitantes totales en cada estrato para luego determinar la generación per cápita (GPC) de cada estrato como un promedio de los datos de la semana.

Generación per cápita para cada estrato:

$$GPC_i = \frac{Día1 + Día2 + Día3 + Día4 + Día5}{Número de Habitantes * 5 Días}$$

Se registran los pesos de la recogida por zona y día, se procesan los en el Software Minitab, lo que permite realizar comparaciones y pruebas de control. Con el peso de los desechos recogidos por día y por zona, conociendo que cantidad de habitantes participa de igual manera, se estima una media de 0.694kg/hab/día, con una desviación de 0.203kg/hab/día(S_p) y un error de 8%(e) aproximadamente.

Las veinte muestras de índice de generación per cápita son trabajadas en el Minitab, donde se decide emplear las herramientas estadísticas siguientes: Resumen Gráfico (anexo 5), en las Herramientas de Calidad, los Intervalos de Tolerancia (anexo 6).

Al ver el nivel de significancia de la prueba de Anderson-Darling (valor $P=0.006$), se puede concluir que en niveles de α mayores que 0.006 hay evidencia de que los datos no siguen una distribución normal, como el α establecida es de 0.05, entonces no hay normalidad en la

muestra. Por esto para escoger los intervalos de tolerancia son tomados los no paramétricos.

El 95% de los índices de generación de desechos diarios, calculados para los habitantes de Santa Clara se comportarán entre 0.403 kg/hab/día y 1.141 kg/hab/día con un 95% de confianza.

Se obtienen intervalos de confianza para los parámetros de media, mediana y desviación estándar, se usa un nivel de significancia de 0.05 (α), por lo que el nivel de confianza es del 95%. Así podemos decir con la evidencia estadística que se cuenta que:

El índice de generación promedio de RSU por habitantes del municipio de Santa Clara, cada día se comportará entre 0.599kg/hab/día y 0.789kg/hab/día.

El valor central del IGP estará entre 0.569 kg/hab/día y 0.768 kg/hab/día.

Como mínimo la desviación estándar podría ser con un 95% de confianza de 0.154 kg/hab/día, llegando a un límite máximo de 0.298 kg/hab/día.

Paso 9: Determinación de la densidad

Para hallar peso específico o densidad (kg/m^3 o m^3/kg respectivamente), solo hay que tener el peso de la cantidad de desechos que ocupa un volumen determinado. Se pueden emplear contenedores plásticos, tanques de 55 galones, cubetas; solo es necesario calcular el volumen del recipiente y el peso de RSU que almacena. Para determinar el volumen, si fueran cilindros, se mide la altura y diámetro, si se asemeja a un prisma (por lo general un cuadrado o rectángulo en el caso de estos receptáculos) serían necesarios largo, ancho y altura.

En función de esto y de los pasos posteriores como son determinación de la composición, humedad y poder calórico se aplica el método del cuarteo, es recomendable para los países de Latinoamérica, que pueden no tener acceso a los recursos técnicos, humanos y financieros necesarios para aplicar otros métodos abordados en el capítulo 1, además de que en la bibliografía consultada se puntualiza que es el método más sencillo y efectivo.

Pasos para realizar el cuarteo

1. Coloca la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con materias extrañas.
2. Homogeneiza el material traspapelando toda la muestra y acomodándolo en una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior.

3. Por medio de la pala, ejerce presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta que obtener un espesor y un diámetro uniformes. El diámetro obtenido deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material.

4. Seguidamente divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala o la cuchara de albañil como se muestra en la figura 2.2.

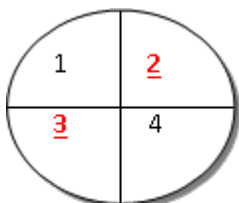


Figura 2.2: Numeración de los cuartos. Fuente: Metodología para el cálculo de generación y determinación de la composición física de los residuos sólidos (JICA, 2017).

5. Se unirán los cuartos 2 y 3, se mezclan hasta lograr una homogeneidad, la cual se dividirá en cuatro, numerándose de igual forma, mientras que el cuarto 1 y 4 se desecha.

6. Este procedimiento se realiza cuatro veces como indica la Figura 2.3.

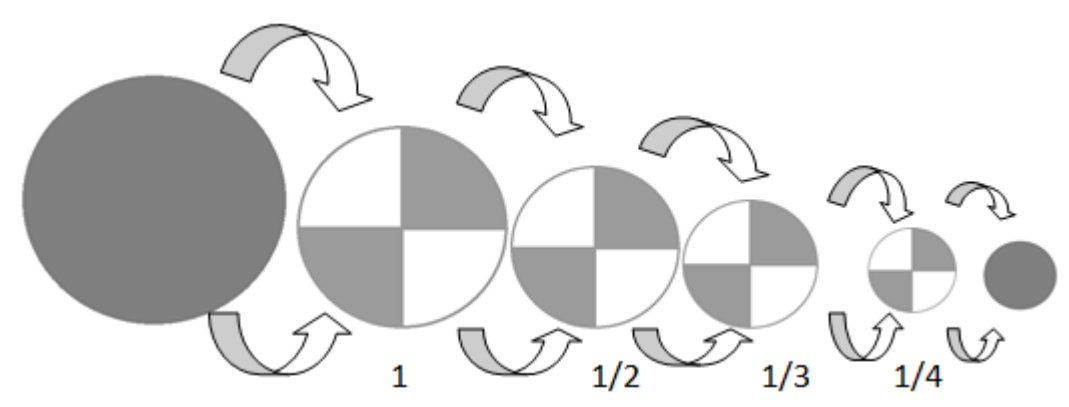


Figura 2.3: Procedimiento para el cuarteo.

Fuente: Manual de caracterización y proyección de los residuos sólidos municipales (JICA, 2017).

Durante los días 12, 14 y 16, se tomaron muestras y se les aplica el método del cuarteo para luego estimar el peso específico de los desechos. Fueron empleadas cubetas de $0.026m^3$, en la tabla 2.5 están los resultados. Las muestras se seleccionaron separando los desechos orgánicos de los inorgánicos (anexo 7).

Tabla 2.5: Resultados de las pruebas de peso específico.

	Orgánico	Inorgánico	RSU Mesclados
Peso específico	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Promedio	240.091	93.901	214.957
Desviación muestral	76.639	31.697	

Fuente: A partir del anexo 7.

Paso 10: Determinación de la composición física de los residuos sólidos

Para estudiar composición, a partir de la muestra seleccionada, se tomaría una fracción ya resultante de la aplicación del cuarteo, la cual se clasificaría en los diferentes componentes posibles (de interés), para identificar que porcentaje representan. Consiste en separar los residuos sólidos según su naturaleza física (plástico, vidrio, papel, metal, entre otros) y pesarlos por separado, con los pesos de cada componente se calcula su proporción respecto al total según la fórmula, (%).

$$\text{Porcentaje \%} = \frac{P_i}{W_t} \cdot 100$$

Dónde:

Pi: Peso de cada componente.

Wt: Peso total de la muestra.

Para realizar el estudio de composición y de humedad se unirán de la última muestra los cuartos 2 y 3 o los cuartos 1 y 4. Con la unión de uno de los cuartos, se realizará el estudio de composición.

Para la clasificación de las muestras, se colocaron los desechos recogidos separados por CP y por tipo, en orgánicos e inorgánicos, se tomó el registro entregado por el Centro de Negocio de la UERMP y se procesaron los datos obtenidos. Para comparar el comportamiento de principales productos entre los diferentes CP ver anexo 8.

Tabla 2.6: Clasificación de residuos procedentes de hogares por los diferentes CP.

Consejos Populares	Centro	Virginia	José Martí	Antón Díaz		
Clasificación	%	%	%	%	Re su	%

Orgánico	83.23	89.98	78.18	81.30		83.74
de ello ...						
Textil	0.08	0.66	0.52	0.56		0.41
residuos de alimentos	82.25	83.73	77.12	67.29		78.15
madera y follaje	0.90	5.60	0.55	13.46		5.18
Inorgánico	15.79	9.90	21.11	18.21		15.66
de ello ...						
Papel	5.84	1.84	1.95	3.37		3.66
Plástico	3.20	3.57	6.25	5.47		4.29
Aluminio	0.48	0.22	0.49	0.13		0.33
Tetra pack	0.11	0.17	0.03	0.07		0.11
Vidrio	3.27	3.32	11.01	8.14		5.60
Ferroso	2.89	0.77	1.38	1.03		1.68
chatarra electrónica	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
residuos peligrosos	0.33	0.12	0.70	0.48		0.37
Otros	0.65	0.00	0.00	0.00		0.23
Total	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00

Fuente: a partir de registros de campo.

Con las evidencias estadísticas hasta el momento, se puede afirmar, que los principales desechos reciclables provenientes de los RSU de viviendas, no solo son generados donde existe una mayor urbanización, se aprecia en el caso del vidrio y el plástico como va aumentando según nos movemos a los consejos populares con características menos urbanas.

Paso 11: Determinación del contenido de humedad

Con la otra unión de los cuartos, se determina el por ciento de humedad de los RSU, que al igual que otros indicadores que se consideren necesarios, esto se realizara en un laboratorio especializado de la Facultad de Química Farmacia de la UCLV, el cual ya está previamente

coordinado.

La determinación del por ciento de humedad es útil para la selección del tipo de tratamiento y la adquisición de equipos de recolección. La humedad influye notablemente sobre el poder calorífico, la densidad y la velocidad de descomposición biológica de los materiales biodegradables presentes en la masa de RSU.

Un equipo de integrantes del grupo de trabajo del proyecto de RSU de la Facultad de Química de la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”, estudia diferentes muestras para obtener información acerca del porcentaje de humedad, las cuales como se menciona anteriormente se obtienen de una de las partes del cuarteo, y de ellas se selecciona de la fracción orgánica.

Tabla 2.7: Contenido de las muestras por cada día de estudio.

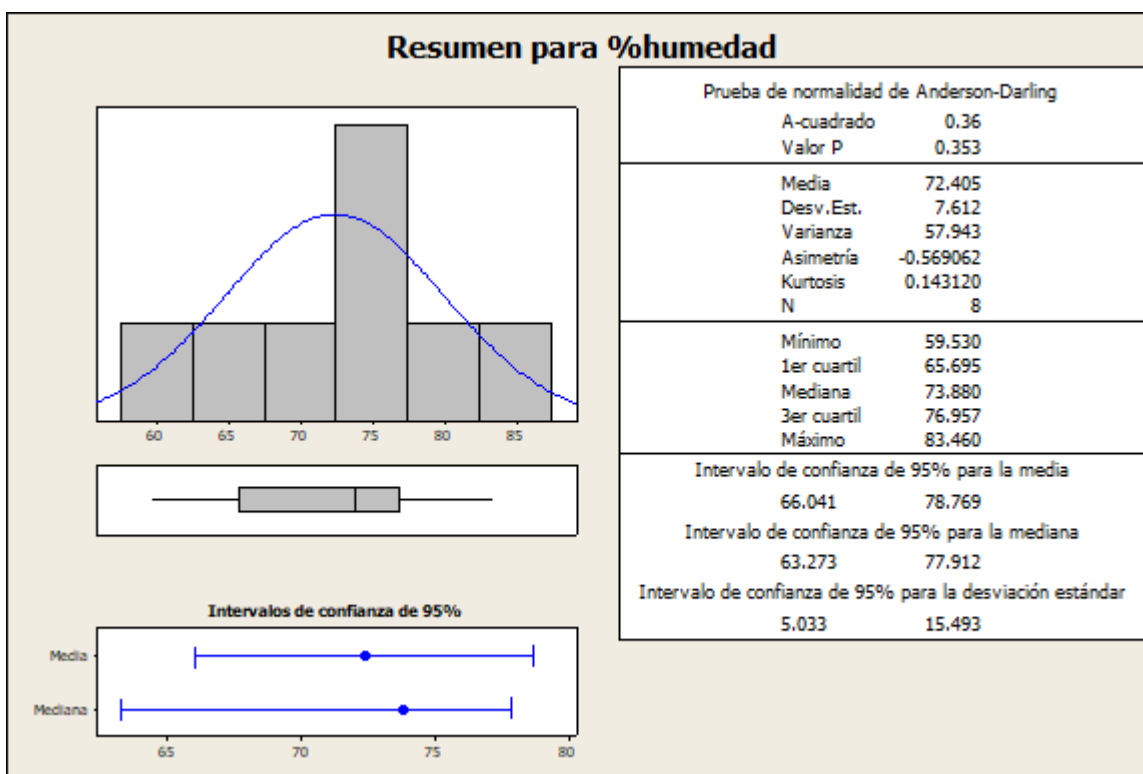
Muestra día 1 del estudio		
Datos ofrecidos	Muestra	Replica
Peso de la muestra (g)	10.550	10.158
Humedad evaporada (%)	77.53	74.16
Residuo de la muestra (%)	22.47	25.84
Humedad evaporada referido al peso final (%)	344.98	286.95
Humedad evaporada (mg)	8179	7530
Peso residual de la muestra (g)	2.371	2.624
Muestra día 2 del estudio		
Datos ofrecidos	Muestra	Replica
Peso de la muestra (g)	10.305	11.015
Humedad evaporada (%)	63.53	59.53
Residuo de la muestra (%)	36.47	40.47
Humedad evaporada referido al peso final (%)	174.20	147.07

Humedad evaporada (mg)	6547	6557
Peso residual de la muestra (g)	3.758	4.458
Muestra día 3 del estudio		
Datos ofrecidos	Muestra	Replica
Peso de la muestra (g)	10.989	11.275
Humedad evaporada (%)	72.19	83.46
Residuo de la muestra (%)	27.81	16.54
Humedad evaporada referido al peso final (%)	259.60	504.45
Humedad evaporada (mg)	7933	9409
Peso residual de la muestra (g)	3.056	1.864
Muestra día 4 del estudio		
Datos ofrecidos	Muestra	Replica
Peso de la muestra (g)	10.329	11.006
Humedad evaporada (%)	73.60	75.24
Residuo de la muestra (%)	26.40	24.73
Humedad evaporada referido al peso final (%)	278.79	304.73
Humedad evaporada (mg)	7536	8290
Peso residual de la muestra (g)	2.703	2.715

Fuente: Facultad de Química de la UCLV.

Con el Minitab se procesan los ocho datos de porciento de humedad (figura 2.4), los cuales revelan que, (durante esta época hasta el momento) como media la humedad se comporta al 72.4%, con una desviación de 7.6%, los intervalos de confianza al 95% para la media se encuentran entre 66% y 78.8% de humedad en los residuos orgánicos.

Figura 2.4: Imagen de salida del Resumen Gráfico del Minitab para los datos de % de humedad.



Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento de datos del trabajo de campo en el Minitab.

Paso 12: Determinación del poder calorífico

Con el valor de la humedad y el porcentaje de composición se determinan los valores superior e inferior del poder calorífico (considerando los resultados máximo y mínimo obtenidos de los intervalos de confianza para la media del por ciento de humedad) de los desechos, utilizando las expresiones 1 y 2 (OMS, 2000). La información inicial se muestra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Información inicial para el cálculo del poder calorífico.

Residuo	variable	%composición	kcal/kg (materia seca)
textil	a	0.4	4000
residuos de alimentos	b	78.1	4000
madera y follaje	c	5.2	4000
papel	d	3.7	4000
plástico	e	4.3	9000

Fuente: (OMS, 2000).

$$PCS=40(a+b+c+d-w) + 90e.(1)$$

$$PCI= PCS - 6w.(2)$$

En las expresiones (1) y (2), los valores a, b, c, d y e, representan la composición de cada tipo de residuo en la mezcla medida en porciento, w el porciento de humedad obtenida y PCS y PCI, el poder calorífico superior e inferior de la mezcla. Los resultados obtenidos son:

Para w=66%

PCS= 1242 kcal/kg

PCI= 846kcal/kg

Para w=78.8%

PCS=730 kcal/kg

PCI=257 kcal/kg

El poder calorífico inferior es muy bajo, es de esperar con tan alto nivel de humedad, esto es un estimado, sería ideal realizar una prueba del poder calorífico inferior en laboratorio.

Análisis general de los datos obtenidos

Conociendo que actualmente en Santa Clara residen aproximadamente 245000 personas, con el índice de generación de residuos calculado como media (0.694kg/hab/día), se podría estimar que, en la actualidad, 170 toneladas de desechos, son generados por las viviendas del municipio cada día. Para un año se convertirían en 62060.950 toneladas, de las cuales 9720.626 toneladas serían reciclables y 51968.384 toneladas de RSU orgánicos. Para exponer el por qué estos residuos son recursos y no desechos, es palpable en el siguiente ejemplo: el 0.3% de todos los desechos generados corresponde a productos de aluminio, en los RSU provenientes de viviendas están constituidos por latas, que hoy las empresas cubanas recuperan y venden a 781.30cup/tonelada, así podemos asumir que aproximadamente estamos enterrando, en nuestro vertedero municipal, cada día 437.64cup, lo que representa en un año 159738.82cup (solo por concepto de generación en viviendas de latas de aluminio). La generación de plásticos representa el 4.3%, el PEAD (polietileno de alta densidad) se encuentra en la cima significando el 33.2% dentro de los plásticos y el 1.4% de todos los RSU, los que se venden a 2025.00cup/tonelada, por lo que se estima irán bajo tierra 1759427.93cup/año. Por el cartón que se desecha, 495450.73cup/año, sería lo que se dejaría de ganar si el precio se mantiene a 218cup/tonelada. Si se compara con el monto de importar estas materias primas, los valores se elevan a grandes pérdidas.

Conclusiones Parciales

1. La caracterización preliminar de Santa Clara indica que el municipio tiene dificultades en cada una de las etapas de la gestión de los RSU, corroborando la necesidad de la

determinación de la generación y composición de los mismos con el fin de crear estrategias para su mejora e identificar las potencialidades para su valorización energética y productiva.

2. Luego de aplicado el estudio se obtiene el índice de generación promedio de RSU por habitantes del municipio de Santa Clara el cual es 0.694 kg/hab/día, comportándose entre 0.59 kg/hab/día y 0.79 kg/hab/día. Existiendo una alta presencia de material orgánico (84%), lo que trae consigo un % de humedad alto, por lo que el poder calorífico inferior es bajo, derivado de esto se encarecería la producción de energía eléctrica.
3. Los principales desechos reciclables provenientes de los RSU de viviendas, no solo son generados donde existe una mayor urbanización, también se aprecia luego de procesados los datos que en el caso del vidrio y el plástico aumentan de manera considerable en los consejos populares con características menos urbanas.

Conclusiones Generales

1. La literatura consultada proporciona varios métodos, metodologías, procedimientos y normas utilizadas para la caracterización de los RSU. En función de las peculiaridades del territorio se utiliza la propuesta por Sakurai pues la misma utiliza un procedimiento estadístico para determinar una muestra representativa de una población, además de tener en cuenta el método del cuarteo el cual se utiliza en los países latinoamericanos pues su aplicación es simple y necesita pocos recursos técnicos, humanos y financieros.
2. La implementación de la metodología define el índice de generación promedio de RSU en el municipio de Santa Clara siendo el mismo 0.694 kg/hab/día, con una composición orgánica del 84% y de humedad un 72.4% el cual es alto, por lo que el poder calorífico inferior es bajo encareciendo así la producción de energía eléctrica.
3. Actualmente en Santa Clara residen aproximadamente 220 916 personas, por lo que, en la actualidad, 170 toneladas de desechos, son generados por las viviendas del municipio cada día. Para un año se convertirían en 62060.950 toneladas, de las cuales 9720.626 toneladas serían reciclables y 51968.384 toneladas de RSU orgánicos.

Recomendaciones

1. Utilizar los resultados del estudio para crear estrategias en pos del buen funcionamiento de las siguientes etapas de la gestión de los RSU.
2. Realizar un nuevo muestreo con mayor cantidad de viviendas.
3. Aplicar estos estudios para los demás generadores de RSU como: escuelas, hospitales, hostales, restaurantes, hoteles, comercios, empresas de producción o servicio y otros municipios.

Bibliografía:

1. ACOSTA, A. & FABIÁN, E. 2015. Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos.: análisis del caso Bogotá DC Programa Basura Cero.
2. ACOSTA, E. F. A. 2015. PANORAMA ACTUAL DE LA SITUACIÓN MUNDIAL, NACIONAL Y DISTRITAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.
3. ACURIO, G., ROSSIN, A., TEIXEIRA, P. F. & ZEPEDA, F. 1997. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.
4. ALCAIDE TUR, Á. 2012. Residuos sólidos urbanos, una consecuencia de la vida. *España: Universidad Jaume I*.
5. AVEDOY, V. J. G. 2006. *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*, Instituto Nacional de Ecología.
6. BELTRÁN VILA, J. E. 2014. *Evaluación de la metodología de caracterización de los residuos sólidos de origen municipal dispuestos en el relleno sanitario parque ambiental los pocitos de la ciudad de Barranquilla*. Universidad Autónoma de Occidente.
7. BRECEDA-MARTOS, A., MILLÁN-LÓPEZ, J. A., OBREGÓN-ORTEGA, L. C. & RICHERAND-CALLEJA, M. L. 2017. Diagnóstico de manejo de residuos sólidos urbanos en San Pedro Valencia y comunidades aledañas.
8. CALVA ALEJO, C. L. & ROJAS CALDELAS, R. I. 2014. Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos urbanos en el municipio de Mexicali, México: Retos para el logro de una planeación sustentable. *Información tecnológica*, 25, 59-72.
9. CASAS, J., TORRAS, A., GARRIGA, E. & MERITXELL, M. 2005. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Los residuos municipales y su gestión. *España: Asociación Mundial de las Grandes Metrópolis. Metropolis*.
10. COMMONS, L. C. & COMERCIAL, A. N. 2016. TÍTULO: LOGÍSTICA DE RECOGIDA PARA RESIDUOS SÓLIDOS DERIVADOS DEL PLÁSTICO EN LA PLANTA DE ACOPIO DEL BARRIO LA ALQUERÍA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.
11. DE LA OLIVA, M. & MALONDA, I. 2012. Manual de buenas prácticas en gestión de residuos en Institutos de Secundaria y Formación profesional. Madrid: MEETEL Diseño y Comunicación.
12. DURÁN, C. E. S., ROSALES, I. P. H., FERNÁNDEZ, S. M. & PIMIENTA, J. A. P. 2013. Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero El Iztete, de Tepic-Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 25-32.
13. EI, R. G. 2016. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE ZITÁCUARO, MICHOACÁN.
14. FRADE, M. S. N. E. R., TORRE, M. S. J. M. B. D. L. & VALLE, L. R. A. B. 2013. Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales.
15. GÜERECÀ HERNÁNDEZ, L. P. 2006. *Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales*, Universitat Politècnica de Catalunya.
16. JHA, A. K., SINGH, S., SINGH, G. & GUPTA, P. K. 2011. Sustainable municipal solid waste management in low income group of cities: a review. *Tropical*

- Ecology*, 52, 123-131.
17. JICA 2017. Manual de Caracterización Y Proyección de los Residuos Sólidos Municipales. *Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos*.
 18. LEAL FILHO, W., BRANDLI, L., MOORA, H., KRUOPIENĖ, J. & STENMARCK, Å. 2016. Benchmarking approaches and methods in the field of urban waste management. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4377-4386.
 19. LÓPEZ, J. L. F. "Implementación del sistema de manejo integral de residuos sólidos urbanos en el distrito de Las Lomas".
 20. LÓPEZ TORRES, M., ESPINOSA LLORÉNS, M. D. C. & DELGADO, J. 2004. Desarrollo tecnológico en la gestión integral de los residuos urbanos en Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 35.
 21. PALACIOS, F., GARCÍA, E. & GARCÍA, O. Gestión de residuos urbanos en 6 municipios de la ciudad de La Habana. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29, 2004. AIDIS, 1-4.
 22. PANAGIOTIDOU, N., STAVRAKAKIS, G. S. & DIAKAKI, C. 2015. Sustainable urban solid waste management planning with the use of an advanced interactive decision support system based on the PROMETHEE II method. *International Journal of Decision Support Systems*, 1, 294-324.
 23. PANDEY, P. C., SHARMA, L. K. & NATHAWAT, M. S. 2012. Geospatial strategy for sustainable management of municipal solid waste for growing urban environment. *Environmental monitoring and assessment*, 184, 2419-2431.
 24. ROSELL, M. B. 2013. LAS CUENTAS PENDIENTES DEL MANEJO DE LA BASURA. *Debates IESA*, 18, 49-53.
 25. RÜECK, A., AGUSTINA, J. & BRANDÁN CAMPANERA, L. 2015. *Optimización de la logística del transporte de residuos diferenciados en la ciudad de Córdoba*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y
 26. RUNFOLA, J. & GALLARDO, A. Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, Colombia, 2009a.
 27. RUNFOLA, J. & GALLARDO, G. 2009b. Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas.
 28. SAKURAI, D. K.-C. O., ASESOR REGIONAL EN RESIDUOS SÓLIDOS & CEPIS/OPS. 2000. METODO SENCILLO DEL ANALISIS DE RESIDUOS SOLIDOS.
 29. SALDAÑA DURAN, C. E., HERNANDEZ ROSALES, I. P., MESSINA FERNANDEZ, S. & PEREZ PIMIENTA, J. A. 2013. Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero El Iztete, de Tepic-Nayarit, México.
 30. SAVINO, A. 1999. Diagnóstico de la situación del manejo de los Residuos Sólidos Municipales y Peligrosos en Argentina. *Trabajo encomendado por la Representación Local de la Organización Panamericana de la Salud. Internet*.
 31. UNICEF 2010. Experiencias urbanas de gestión integral de residuos en 10 municipios de Argentina. *Documento recuperado de: <https://www.unicef.org/argentina/spanish/EcoclubesbajaWEB.pdf>*.

Anexos

Anexo 1: Numeración de las zonas por consejo popular.

Zonas	Consejos populares
1	Consejo Centro
2	Consejo Popular Camacho Libertad
3	Santa Catalina, Capiro
4	Vigía-Sandino, Escambray, Manajanabo
5	Consejo Popular Chambery, Sakenaf, Caracatey y Hospital
6 Norte	Condado Norte
6 Sur	Condado Sur
7	virginia
8	Abel Santa María, Dovalganes y Tirso Díaz
9	Reparto Universitario, Base Aérea, Hatillo-Yabú
10	Toda la circunvalación, y reparto Los Cirios
11	José Martí, Ciro Redondo, Las Minas yAntón Díaz
14	Carro especializado que recoge todos los tanques q están en las avenidas o calles principales en el Reparto Escambray y José Martí

Fuente: elaboración propia

Anexo 2: Formas de recolección.

Fuente: Proporcionado por DPSC. VC.

CONTENEDORES PLASTICOS



SUPIADERO



Anexo 3: Medios de transporte.

Fuente: Proporcionado por DPSC. VC.

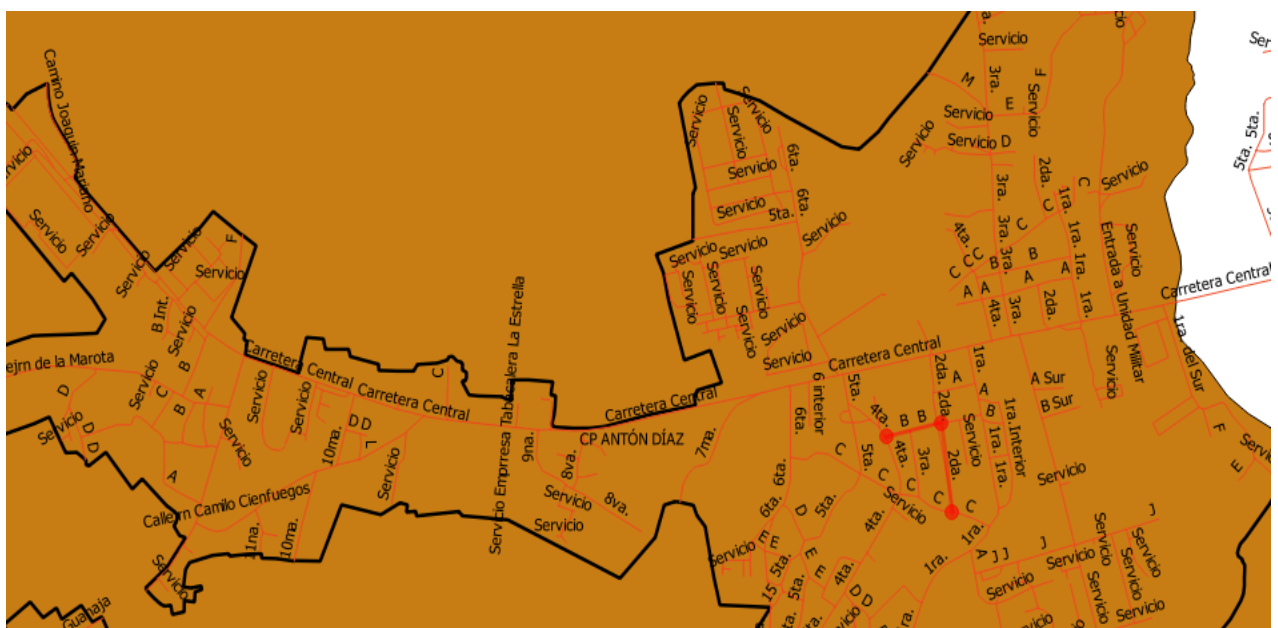
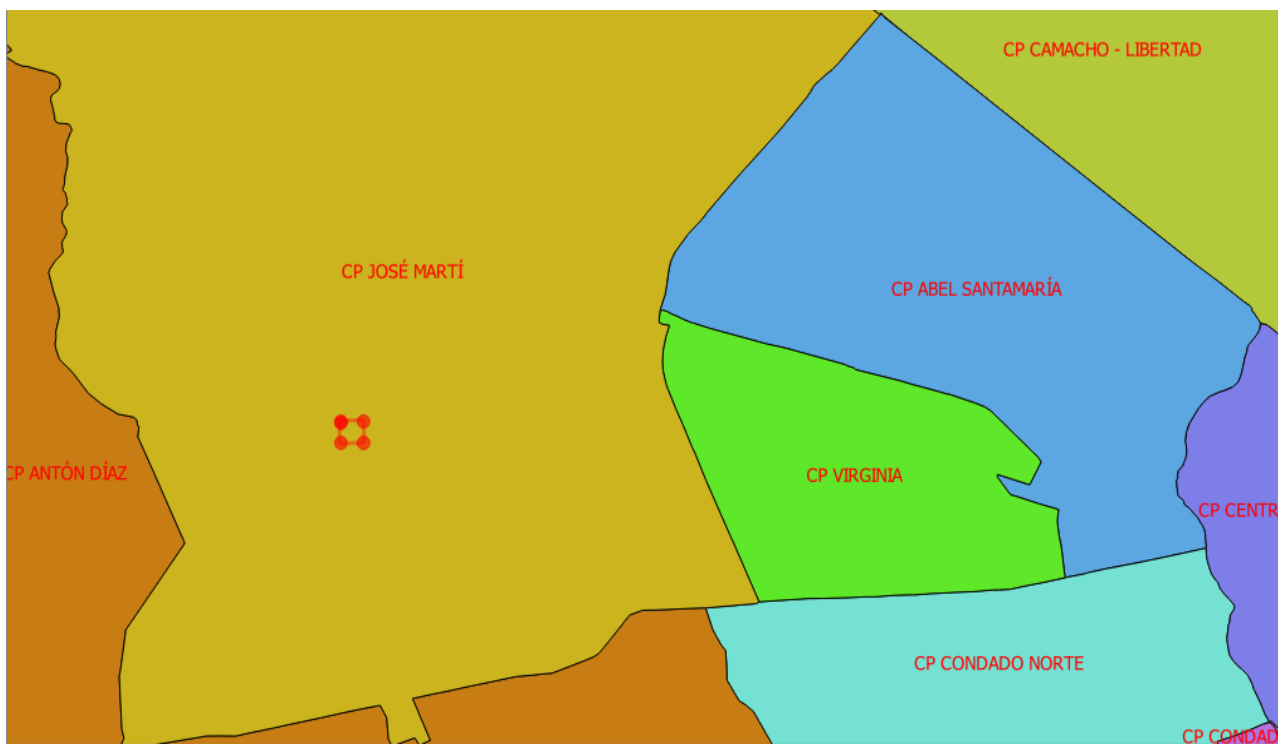


Carros especializados compactadores



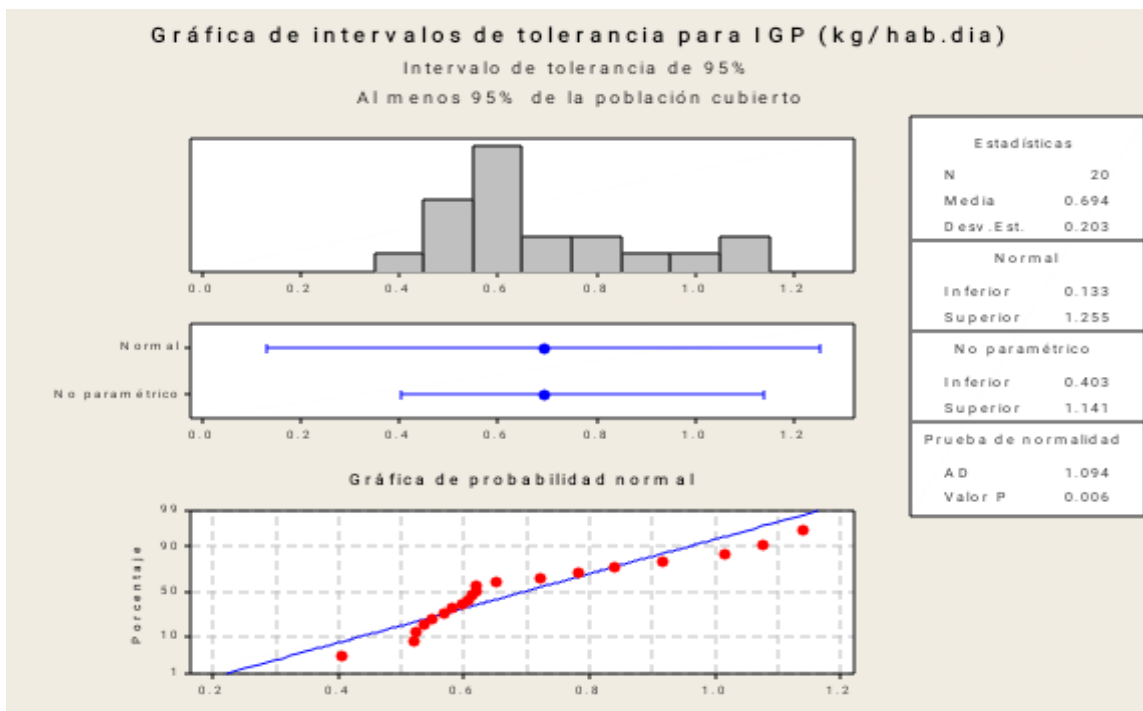
Camión abierto de volteo





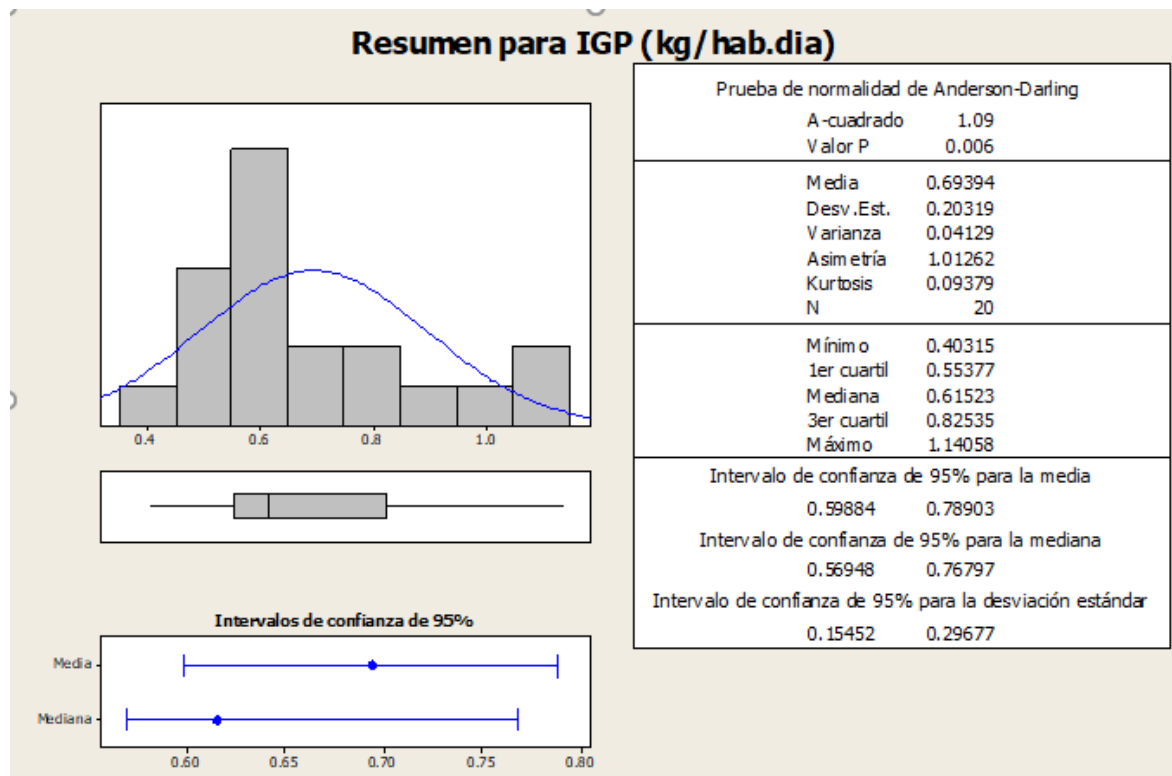
Fuente: Proporcionado por GeoCuba.

Anexo 5: Imagen de salida de Intervalos de Tolerancia del Minitab para IGP.



Fuente: Elaboración propia a partir del software Minitab 16.

Anexo 6: Imagen de salida del Resumen Gráfico del Minitab para IGP.



Fuente: Elaboración propia a partir del software Minitab 16.

Anexo 7: Datos registrados para la prueba del peso específico.

	ORGÁNICO							INORGÁNICO					
	muestra día 12		muestra día 14		muestra día 16			muestra día 12		muestra día 14		muestra día 16	
	Día 1		Día 3		Día 5			Día 1		Día 3		Día 5	
# Muestra	Peso (kg)	kg/m ³	Peso (kg)	kg/m ³	Peso (kg)	kg/m ³		Peso (kg)	kg/m ³	Peso (kg)	kg/m ³	Peso (kg)	kg/m ³
1	3.277	127.708	4.900	190.943	7.865	306.499		2.440	95.097	1.600	62.349	2.169	84.531
2	9.176	357.582	4.650	181.201	3.933	153.249		1.898	73.964	3.400	132.491	3.525	137.362
3	8.521	332.041	6.200	241.602	4.588	178.791		3.254	126.796	2.550	99.368	2.440	95.097
4	7.865	306.499	9.550	372.144	9.176	357.582		2.169	84.531	2.550	99.368	3.254	126.796
5	6.555	255.416	6.540	254.851	5.244	204.333		1.627	63.398	3.300	128.594	2.440	95.097
6	3.933	153.249	4.150	161.717	4.588	178.791		1.898	73.964	1.450	56.504	1.627	63.398
7	6.555	255.416	5.700	222.118	7.865	306.499		3.525	137.362	4.050	157.820	1.627	63.398
8	4.588	178.791	7.350	286.415	7.865	306.499		3.525	137.362	2.100	81.833	2.169	84.531
9	7.210	280.957	5.350	208.479	5.244	204.333		1.356	52.832	3.350	130.543	1.627	63.398
10	6.555	255.416	2.150	83.781	4.588	178.791		3.525	137.362	2.700	105.214	3.254	126.796
11	5.899	229.874	9.200	358.506	4.588	178.791		3.525	137.362	3.900	151.975	1.356	52.832
12	3.277	127.708	6.200	241.602	3.277	127.708		1.898	73.964	1.700	66.246	1.898	73.964
13	3.933	153.249	8.000	311.744	7.210	280.957		1.898	73.964	2.600	101.317	2.169	84.531
14	4.588	178.791	9.350	364.351	5.899	229.874		1.356	52.832			1.898	73.964
15	3.933	153.249	5.900	229.911	3.277	127.708		4.067	158.495			2.983	116.230
16	9.832	383.124	9.400	366.299	5.244	204.333		1.356	52.832			2.440	95.097
17	5.244	204.333	6.300	245.498	9.832	383.124		2.983	116.230			2.983	116.230
18	6.555	255.416	7.600	296.157	5.244	204.333		1.356	52.832			1.627	63.398
19	3.277	127.708	6.800	264.982	8.521	332.041		1.356	52.832			1.898	73.964
20	5.899	229.874	5.800	226.014	7.865	306.499		2.440	95.097			1.627	63.398
desviación	2.005	78.133	1.930	75.222	1.996	77.781	desviación	0.918	35.771	0.852	33.220	0.647	25.215
promedio	5.834	227.320	6.555	255.416	6.096	237.537	promedio	2.373	92.455	2.712	105.663	2.251	87.700
suma	116.67 0	4546.40 1	131.09 0	5108.31 6	121.91 4	4750.73 4	suma	47.45 2	1849.10 7	35.25 0	1373.62 2	45.01 2	1754.01 0

Mediana	5.899	229.874	6.250	243.550	5.244	204.333	Mediana	2.034	79.247	2.600	101.317	2.169	84.531
---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	---------	-------	--------	-------	---------	-------	--------

Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de campo.

Anexo 8: Comportamiento de la composición de diferentes productos en la generación de RSU por los diferentes Consejos Populares.

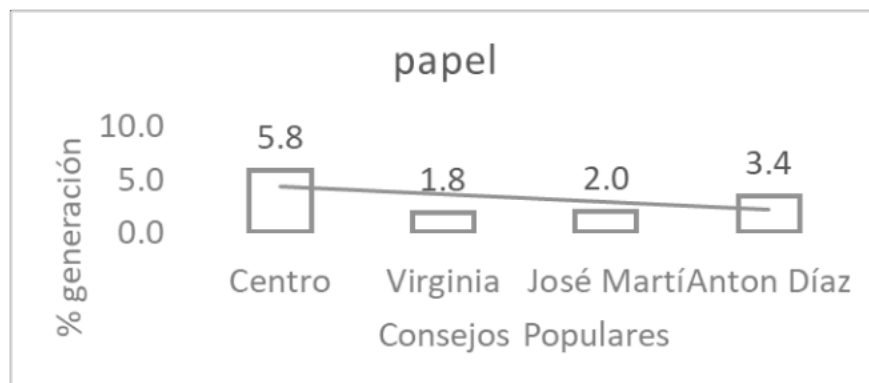


Gráfico 1: Por ciento de papel en la muestra.

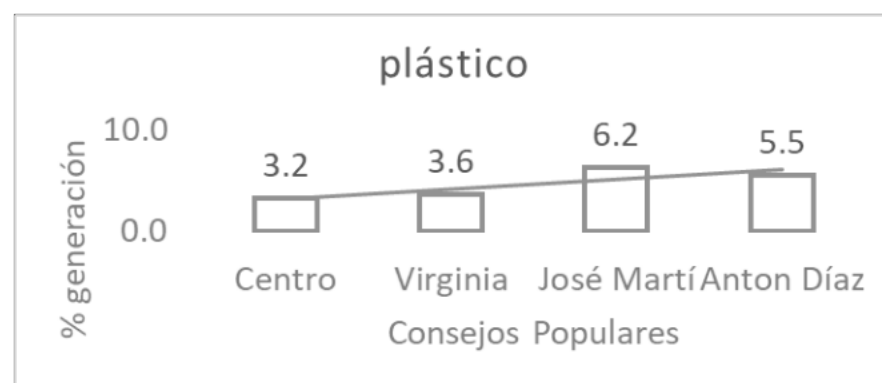


Gráfico 2: Por ciento de plástico en la muestra.

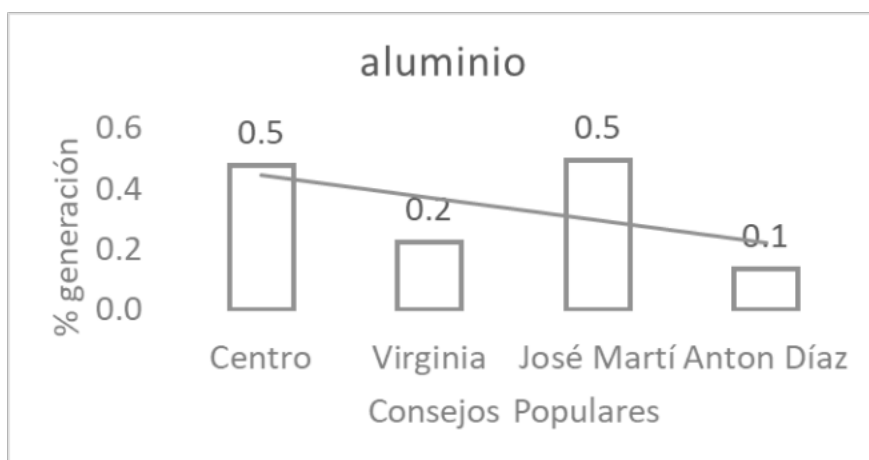


Gráfico 3: Por ciento de aluminio en la muestra.

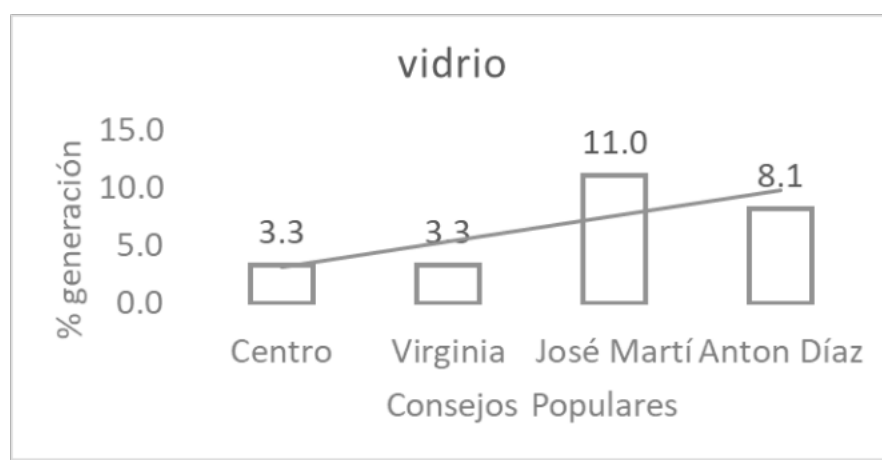


Gráfico 4: Por ciento de vidrio en la muestra.

Fuente: Elaboración propia a partir del cálculo en Excel con los datos recogidos en el trabajo de campo.

