

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**POTENCIAL DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS**  
**SÓLIDOS DOMICILIARIOS URBANOS DEL DISTRITO**  
**DE ANTAUTA**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Br. ELMER ALÍ MAMANI MOYA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO - PERÚ**

**2017**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



POTENCIAL DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
DOMICILIARIOS URBANOS DEL DISTRITO DE ANTAUTA

TESIS

PRESENTADO POR:

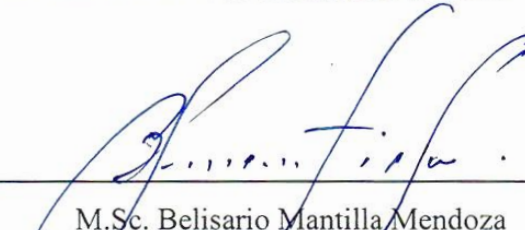
Br. ELMER ALÍ MAMANI MOYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

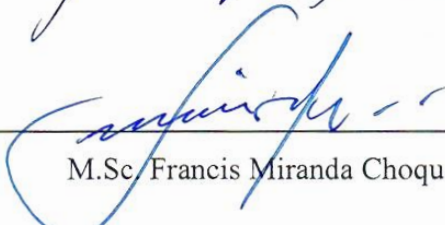
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:


PRESIDENTE:

  
M.Sc. Belisario Mantilla Mendoza


PRIMER MIEMBRO:

  
M.Sc. Francis Miranda Choque

SEGUNDO MIEMBRO:

  
D.Sc. Dina Pari Quispe

DIRECTOR DE TESIS:

  
Mg. Martha Elizabeth Aparicio Saavedra

ÁREA: ECOLOGÍA

TEMA: RESIDUOS SÓLIDOS

### **DEDICATORIA**

*A mí Ser Superior por ser mi guía, por su protección, por su bendición y, por despertar y elevar mi conciencia de ser, hacia una misión de felicidad, de éxito material y espiritual.*

*A mí queridos familiares por todo su amor y apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.*

*A mis amigos y compañeros por su amistad, motivación, por compartir y formar parte de mi vida.*

*Con cuerpo, alma y espíritu dedico a todos ellos con mucho cariño.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno y a la Facultad de Ciencias Biológicas, por haberme formado profesional Biólogo y por todo el apoyo que me brindó esta casa superior de estudios.*

*A mi directora de tesis Mg. Martha Elizabeth Aparicio Saavedra, por su asesoramiento y apoyo en la realización de esta investigación.*

*A mis jurados de tesis M.Sc. Belisario Mantilla Mendoza, M.Sc. Francis Miranda Choque y D.Sc. Dina Pari Quispe, por sus revisiones y correcciones para que este trabajo de investigación se concluya de manera correcta.*

*Al alcalde de la Municipalidad Distrital de Antauta, Marco Soto Vilca por su apoyo en la ejecución de la presente investigación.*

*Agradezco a todos, por haber contribuido a que este trabajo de investigación se concluya satisfactoriamente.*

*Muchas Gracias a todos,*

*Alí Mamani Moya*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN .....	1
• Objetivo general.....	2
• Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. ANTECEDENTES .....	3
2.2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
3.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	32
3.2. TIPO DE ESTUDIO .....	32
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	33
3.4. METODOLOGÍA .....	36
3.4.1. Determinación de la generación y composición de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta .....	37
3.4.2. Evaluación del potencial de recuperación de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta .....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.1. Generación y composición de RSD urbanos del distrito de Antauta .....	44
4.2. Potencial de recuperación de RSD urbanos del distrito de Antauta .....	51
V. CONCLUSIONES .....	62
VI. RECOMENDACIONES .....	63
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXOS .....	68

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Elementos físicos del sistema de manejo de residuos sólidos .....	12
Figura 2. Circulo vicioso del manejo de residuos sólidos .....	30
Figura 3. Método de cuarteo para obtener la muestra de residuos sólidos .....	39
Figura 4. Generación total de RSD urbanos del distrito de Antauta, noviembre 2016... 45	
Figura 5. Composición de RSD urbanos del distrito de Antauta, noviembre 2016..... 47	
Figura 6. Distribución porcentual de RSD reciclables y no reciclables del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	49
Figura 7. Distribución porcentual de RSD compostables del distrito de Antauta, noviembre 2016..... 52	
Figura 8. Distribución porcentual de RSD reciclables comerciables del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	55
Figura 9. Porcentaje de materiales según los aportes de ingreso económico del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades generadoras de residuos sólidos en la región de América Latina y el Caribe .....	09
Tabla 2. Tendencias en la gestión integral de los residuos sólidos municipales .....	11
Tabla 3. Tasas de crecimiento intercensal del distrito de Antauta, octubre 2016.....	33
Tabla 4. Población del distrito de Antauta, octubre 2016 .....	34
Tabla 5. Proyección de la población urbana del distrito de Antauta, octubre 2016 .....	35
Tabla 6. Densidades para estimar el área de un relleno sanitario manual .....	43
Tabla 7. Análisis estadístico de la GPC de las viviendas del distrito de Antauta, noviembre 2016.....	44
Tabla 8. Proyección de la generación total de RSD urbanos del distrito de Antauta, noviembre 2016.....	46
Tabla 9. Distribución porcentual de RSD recuperables y no recuperables del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	48
Tabla 10. Generación de RSD compostables del distrito de Antauta, noviembre 2016 .	52
Tabla 11. Valorización económica de la posible venta de compost del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	53
Tabla 12. Generación de RSD reciclables comerciables del distrito de Antauta, noviembre 2016.....	54
Tabla 13. Precio promedio de RSD reciclables comerciables del distrito de Antauta, noviembre 2016.....	55
Tabla 14. Ingresos económicos por la venta de RSD reciclables comerciables del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	56
Tabla 15. Área requerida para el relleno sanitario manual sin recuperación de RSD del distrito de Antauta, noviembre 2016.....	59
Tabla 16. Área requerida para el relleno sanitario manual con recuperación de 55.60% de RSD del distrito de Antauta, noviembre 2016 .....	60

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

BID	:	Banco Interamericano de Desarrollo.
CONAM	:	Consejo Nacional del Ambiente.
D.E.	:	Desviación estándar.
DIGESA	:	Dirección General de Salud Ambiental.
E.E.	:	Error estándar.
GPC	:	Generación per cápita.
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
MEF	:	Ministerio de Economía y Finanzas.
MINAM	:	Ministerio del Ambiente.
OPS	:	Organización Panamericana de la Salud.
PEAD	:	Polietileno de alta densidad.
PEBD	:	Polietileno de baja densidad.
PET	:	Polietileno teraftalato.
PVC	:	Poli cloruro de vinilo.
RSD	:	Residuos sólidos domésticos.
RSM	:	Residuos sólidos municipales.
RSO	:	Residuos sólidos orgánicos.
SWD	:	Solid waste domiciliary.
USD	:	United State Dollar.



## RESUMEN

El incremento de la generación de residuos sólidos y el manejo inadecuado del mismo, es un riesgo para la salud y el ambiente. Por otro lado, los residuos sólidos pueden convertirse en materia prima de algún proceso productivo y puede generar beneficios económicos y ambientales. El objetivo de esta investigación fue determinar la generación y composición de residuos sólidos domiciliarios (RSD), y evaluar el potencial de recuperación de RSD urbanos del distrito de Antauta. El tamaño de la muestra para el estudio fue de 67 viviendas urbanas. La recolección de las muestras de RSD se realizó durante 8 días consecutivos, descartándose la muestra del primer día para el análisis. La generación y composición de RSD se estimó a partir de los pesos de las muestras y el método de cuarteo. Para la evaluación del potencial de recuperación se analizó la demanda y precios de RSD reciclables compostables y comerciables. Los resultados muestran que la generación per cápita (GPC) de RSD fue de 0.42 kg/hab./día y la generación total de RSD de la población urbana del distrito de Antauta (2,266 habitantes) asciende a 0.95 t/día. El 74.13% de los RSD tiene potencial de recuperación y reaprovechamiento, donde el 55.07% son compostables y 19.06% son reciclables que se pueden comercializar; y la fracción no recuperable es de 25.87%, por lo que su destino sería la disposición final. Semanalmente se puede recuperar 2.75 t/semana de RSD compostables y producir 0.96 toneladas de compost, y obtener S/ 192.15 soles/semana, S/ 768.60 soles/mes y S/ 9,223.20 soles/año por su venta; asimismo, mensualmente se puede recuperar 3.87 toneladas de RSD reciclables comerciables, y por su venta se podría obtener un total de S/ 1,749.90 soles/mes y 20,998.80 soles/año. Además, con el desvío de la fracción recuperable, se puede prolongar la vida útil del relleno sanitario manual hasta 5.56 años (55.60%), lo que generaría beneficios económicos y ambientales.

**Palabras clave:** Antauta, potencial, recuperación y residuos sólidos.

## ABSTRACT

The increment of the solid waste generation and the same one's inadequate handling, a risk is for the health and the environment. In addition, the solid leavings can become some productive process's raw material and it can generate economic and environmental gainings. The objective this investigation he was to determine generation and solid waste composition domiciliary (SWD), and to evaluate the recuperation potential of SWD urban of Antauta's district. The anthology of SWD'S signs was sold off during 8 running days, descarted shows it of the first day in order to the analysis. The generation and SWD'S composition estimated departing from the pesoes of the signs and the side step method itself. He examined request and SWD recycling compostables's pricings in order to the evaluation of the recuperation potential and marketable. They point out aftermaths than the generation per capita (GPC) of SWD it belonged to 0.42 kg/inh./day and total generation of SWD of the urban population of Antauta's district (2,266 inhabitants) amounts to 0.95 ton/day. The 74.13% of SWD has recuperation and reuse potential of them, of which 55.07% they are composting and 19.06% they are reciclables that can deal in commerce to me; and the fraction no recoverable he is of 25.87%. Weekly i can recover it 2.75 ton of SWD compostable and produce me 0.96 ton of compost and obtaining S/ 192.15 suns/week, S/ 768.60 suns/month and S/ 9,223.20 suns/year for his sale; in like manner, monthly i can recover it 3.87 ton of SWD recycling marketable and it would happen to me that they would be able to obtain a total for his sale of S/ 1,749.90 suns/month, 20,998.80 suns/year. Besides, with the he turned away from the recoverable fraction, it happens to me that the manual garbage depot's useful life can linger on even 5.56 years (55.60%), what would generate economic gainings and environmental.

**Key words:** Antauta, potential, recuperation, solid waste.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años a nivel mundial la generación de residuos sólidos se ha incrementado, especialmente en las zonas urbanas como consecuencia del crecimiento demográfico, las actividades de la moderna sociedad de consumo y el desarrollo tecnológico e industrial (Saldaña *et al.*, 2013 y Quispe, 2015). En Perú, al igual que en muchos países emergentes, el incremento de la generación de residuos sólidos y el manejo inadecuado de los mismos, se ha convertido en un problema para la salud de las personas y el ambiente. Además, se incrementa el costo del servicio de limpieza y se reduce la vida útil de los sitios de disposición final.

La municipalidad distrital de Antauta no es ajeno a este problema, ya que la gestión y manejo de los residuos sólidos tiene deficiencias técnicas, operativas y limitaciones en cuanto a la disponibilidad de recursos, equipamiento e infraestructura. Además, no cuenta con estudios sobre la generación y composición de RSD urbanos con potencial de recuperación y reaprovechamiento que permita diseñar e implementar un sistema de separación y recuperación de residuos sólidos, razón por la cual, los RSD y otros de origen municipal son depositados directamente en el botadero sin ningún tipo de tratamiento y la otra parte son arrojados en las calles, en los alrededores de la zona urbana, entre otros lugares.

Sin embargo, un aspecto importante que puede coadyuvar a mejorar el manejo de residuos sólidos municipales (RSM) del distrito de Antauta, es la recuperación de RSD con potencial de reaprovechamiento, ya que los RSD constituyen el 70% del total de los RSM (MINAM, 2008). El diseño e implementación de un sistema de recuperación y reaprovechamiento de RSD, podría generar beneficios económicos y ambientales (Aguilar *et al.*, 2010), principalmente podría incidir en la reducción de la cantidad de RSD, con la consecuente prolongación de la vida útil del sitio de disposición final y reducción de costos de operación que implica este último, además de la posible obtención de ingresos económicos por la venta de compost y residuos reciclables.

Por otra parte el desvío de una fracción importante de la materia orgánica y otros residuos, reduciría las emisiones contaminantes y lixiviados del sitio de disposición final. Para ello, el punto de partida es contar con información confiable y actualizada sobre la generación y composición de RSD, que permita proponer opciones sustentables para su recuperación y reaprovechamiento.

Entre los RSD, existen materiales como papeles, plásticos, metales, vidrios, materia orgánica, entre otros, que aun poseen algún valor remanente. Sin embargo, al no ser recuperados para reusar o reintegrarlos como materia prima en algún proceso de producción, se desperdician. Esta acción provoca que se demande más materia prima virgen. Las estrategias para el manejo de residuos sólidos deben ser acordes con las necesidades, cultura y recursos de los municipios, así como con las características y volúmenes de los residuos generados. En Perú, muchas municipalidades pequeñas no cuentan con registros sobre la generación de residuos sólidos y no tienen claro su origen y tipo, por lo que sus decisiones son hechas con base en suposiciones e inferencias, razón por la cual se plantearon los siguientes objetivos:

- **Objetivo general**

- Determinar la generación, composición y evaluar el potencial de recuperación de los residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta.

- **Objetivos específicos**

- Determinar la generación y composición de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta.
- Evaluar el potencial de recuperación de los residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

En Perú la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos publicada el 21 de julio del 2000 y modificada por Decreto Legislativo N° 1065, y su reglamento brindan el contexto general para la gestión integral de residuos sólidos a nivel nacional; específicamente la Ley General de Residuos Sólidos, en el Artículo 4° de lineamientos de política, el numeral 5 señala “desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado”.

Además, en nuestro país desde el año 2011, el Ministerio del Ambiente (MINAM) viene promoviendo la implementación de programas de segregación en la fuente y recolección selectiva de RSD en 250 gobiernos locales consideradas ciudades principales tipo A y B; y desde el año 2013 promueve la implementación del programa de disposición final segura de residuos sólidos recolectados por el servicio municipal de limpieza pública, en 564 gobiernos locales considerados ciudades no principales con 500 o más viviendas urbanas; ambas acciones se llevan a cabo en el marco del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal. A través de estos programas, al año 2015 se ha logrado la participación de 953 172 viviendas, lográndose la incorporación de un total de 1 477 t/mes de residuos sólidos reaprovechables a la cadena formal del reciclaje. Asimismo, uno de los objetivos del Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES) 2016 – 2024, es promover la ampliación e implementación de sistemas de minimización, reutilización y reciclaje de residuos sólidos (MINAM, 2016).

En México, Quispe (2015) en su investigación sobre el valor potencial de residuos sólidos orgánicos (RSO) rurales y urbanos para la sostenibilidad de la agricultura, demostró que manejando adecuadamente los RSO, tanto urbanas como rurales, con procedimientos biológicos, como el compostaje con lombrices, con tecnología e infraestructura apropiada, en pequeña y mediana escala y con participación de la gente, se obtiene abono de calidad, el cual aplicados a los cultivos, se logran buenas cosechas. Además, concluyó que nuestra sociedad tiene una magnífica oportunidad para disponer de abono de calidad de las inmensas cantidades de RSO que diariamente se genera, para una agricultura que exige sea orgánica y sostenible.

En la ciudad de Ayaviri, Limachi (2015) en su investigación sobre la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios reciclables y su valorización económica ambiental, determinó que los residuos reciclables fueron de 26.9% de papel, 35.8% de plástico PET y 37.3% de metal. Los residuos que generan mayor ingreso en orden descendente fueron el papel que genera el 42,5% de las ganancias, el plástico PET 34.0% y metal 23.5%. Además, comprobó que existe una correlación positiva muy fuerte ( $R=0.99$ ) entre cantidad de RSD reciclables y los ingresos económicos; y de acuerdo a los índices de rentabilidad, la actividad es rentable.

En Venezuela, Sánchez *et al.* (2014) evaluaron el potencial de aprovechamiento de los materiales presentes en los residuos sólidos de origen doméstico del Municipio Chacao, donde concluyeron que a nivel municipal la cantidad de residuos aprovechables ronda las 12 t/d, donde aproximadamente 6.8 t/d son materiales reciclables secos con amplias posibilidades para su revaloración. Los materiales con mayor potencial de recuperación en la fracción seca, en el orden descendente fueron vidrio, periódicos, PET, PVC, hojalata, envase de larga duración, cajas, PEBD, PEAD, revistas, papel bond, cartón doble faz y aluminio.

El estudio realizado por Saldaña *et al.* (2013) sobre la caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero El Iztete, en el municipio de Tepic (México), evidenció que los residuos sólidos urbanos se componen de 37.56% de materia orgánica, 30,81% de materiales recuperables, que se separarían antes de entrar al relleno sanitario, y 31.63% son residuos que ya no es posible recuperar. Además concluyeron que, mediante un sistema de separación, recuperación y transformación es posible desviar hasta 68.37% de los residuos, que implicaría una disminución de unos 283 mil dólares (USD) por año, en costos de operación y una significativa prolongación de vida útil del relleno. Asimismo se generarían hasta 6 millones de USD por año, por la venta de materiales reciclados.

Taboada *et al.* (2013) evaluaron el manejo y potencial de recuperación de residuos sólidos en la comunidad rural Vicente Guerrero (México) y concluyeron que los principales componentes son el plástico con 14.60% y los residuos alimenticios constituyen el 26.54%, que podrían aprovecharse para la obtención de fertilizantes orgánicos y generación de biogás. Los residuos de jardinería, papel y cartón, que constituyen el 17.07%, pueden emplearse como combustible para generar energía eléctrica.

Valdivia *et al.* (2012) estudiaron la valoración económica del reciclaje de desechos urbanos de los hogares del municipio de Texcoco (México), cuyos resultados indican que el 29% de los residuos son materiales inorgánicos que pueden ser reciclados (papel, vidrio, fierro, cobre, aluminio y plástico PET), el 34% corresponde a la materia orgánica y 37% son materiales no reciclables.

En Colombia Victoria *et al.* (2012) evaluaron las alternativas para fortalecer la valorización de materiales reciclables en plantas de manejo de residuos sólidos en pequeños municipios y concluyeron que, se generan entre 3.7 y 17.0 t/mes de residuos reciclables que tienen potencial para ser mercadeados. No obstante, factores como la poca separación en la fuente, la recolección conjunta y los inadecuados procesos de clasificación y acondicionamiento, afectan la calidad de los materiales y hacen que se comercialicen proporciones inferiores al 40% del total de los residuos reciclables.

Cari (2011) en su estudio sobre la producción total y composición física de residuos sólidos para la formulación del PIGARS en la ciudad de Ayaviri, proyectó una población al 2011 de 22,667 habitantes y determinó una GPC de 0.38 kg/hab./día y una generación total de 11.64 t/día de RSD. En cuanto a la composición determinó que 42% son residuos orgánicos (materia orgánica y residuos de jardinería), 40% son residuos reciclables (24% de plásticos, 10% de papel, 4% de vidrio, 2% de metales), y los residuos no reciclables ascienden a 18%.

Marmolejo *et al.* (2011) realizaron un análisis del funcionamiento de plantas de manejo de residuos sólidos en el Norte del Valle del Cauca (Colombia), donde observaron que en las poblaciones objeto de estudio, la composición de residuos sólidos tiene un predominio marcado de biorresiduos y materiales como papel, cartón, plástico, vidrio y metales, que en su conjunto alcanzan proporciones entre 81.9% y 88.2%, demostrando que la generación de materiales aprovechables es significativa.

Aguilar *et al.* (2010) evaluaron el potencial de recuperación de RSD dispuestos en un relleno sanitario de la ciudad de Ensenada (Baja California, México), donde concluyeron que, en promedio se podrían comercializar semanalmente 643.67 toneladas de residuos alimenticios para composta, 389.45 toneladas de papel y cartón, 217.55 toneladas de plástico, 78.81 toneladas de vidrio, 37.20 toneladas de metales y 8.11 toneladas de aluminio; lo que generaría importantes ingresos económicos.

Asimismo Marmolejo *et al.* (2009) en la cabecera de un municipio colombiano que cuenta con planta de manejo de residuos sólidos (PMRS), evaluó el flujo de residuos, como elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de RSM, determinando que el 83.5% de los residuos generados en los predios residenciales, tiene potencial de aprovechamiento, y los que se generan en mayor cantidad son los residuos orgánicos de rápida degradación.

Por otro lado, Maldonado (2006) al implementar un programa de reducción de residuos sólidos urbanos en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-Mérida) en México, evidenció que, mediante un programa de separación de subproductos, además de los orgánicos; el vidrio, plástico, papel de oficina y el cartón, en el año 2003, fue enviado 67% menos de basura al relleno sanitario de la ciudad de Mérida, lo cual representó para la institución un ahorro de \$ 62 000 pesos, sólo durante el año mencionado.

En Colombia, Gusmán *et al.* (2006) estudiaron el aprovechamiento de los residuos sólidos en el Municipio de Pereira, donde en base a los datos de estudios previos de caracterización de residuos sólidos de dicho municipio, realizaron una modelación económica y financiera, donde los recuperadores fueron 15 personas. Los resultados muestran que, cada recuperador podría tener una recuperación inicial diario de 25 kg de plástico, 31 kg de papel, 8 kg de vidrio y 3 kg de material ferroso y no ferroso. Con base a resultados proyectados, cada recuperador obtendría un ingreso promedio diario de \$ 12.543, 14.337, 15.824 y 17.466, en los años 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Definición de residuos sólidos**

En Perú, el Artículo 14° de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, define a los residuos sólidos, como aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. Desde otro punto de vista, los residuos sólidos son productos de la relación del hombre con su medio (Brown, *et al.*, 2003), en este sentido se puede definir a los residuos sólidos como, todo material descartado por la actividad humana, que no teniendo utilidad inmediata se transforma en indeseable (Tchobanoglous *et al.*, 1993).



### 2.2.2. Clasificación y composición de residuos sólidos

Según su origen en Perú, la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, clasifica y define a los residuos sólidos en:

- a) **Residuos domiciliarios.-** Son aquellos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otro similares.
- b) **Residuos comerciales.-** Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas.
- c) **Residuos de limpieza de espacios públicos.-** Son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas.
- d) **Residuos de establecimientos de salud.-** Son aquellos residuos generados en los procesos y en las actividades para la atención e investigación médica en establecimientos como: hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros fines. Estos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos que son de potencial peligro.
- e) **Residuos industriales.-** Son aquellos residuos generados en las actividades de las diversas ramas industriales, tales como: manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.
- f) **Residuos de actividades de construcción.-** Son aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como: edificios, carreteras, represas, canales y otras afines a estas.
- g) **Residuos agropecuarios.-** Son aquellos generados en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros.

- h) Residuos de instalaciones o actividades especiales.-** Son aquellos residuos sólidos generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión, complejidad y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados, tales como: puertos, aeropuertos, terminales terrestres, instalaciones navieras y militares, entre otras.

*Según su composición química, los residuos sólidos se clasifican en residuos orgánicos e inorgánicos:*

- a) Residuos orgánicos.-** Son aquellos residuos que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos como lombrices, hongos y bacterias principalmente. Además, los residuos orgánicos pueden ser de descomposición rápida: restos de alimento, papel, corta de césped, poda de árboles, entre otros, y de descomposición lenta: textiles, cueros, etc. (Brown, *et al.*, 2003).
- b) Residuos inorgánicos:** Son aquellos que no pueden ser degradados o desdoblados naturalmente, o bien si esto es posible sufren una descomposición demasiado lenta. En general los residuos inorgánicos son todos los elementos que no se degradan biológicamente (Brown, *et al.*, 2003).

*Según su peligrosidad, los residuos sólidos se clasifican en residuos peligrosos y no peligrosos:*

Los residuos peligrosos son aquellos, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosos representa un peligro para el equilibrio biológico, el ambiente o para los segregadores (Brown *et al.*, 2003). En Perú, la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, define a los residuos sólidos peligrosos como aquellos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos representen un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Se consideran peligrosos a los que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad.

### **2.2.3. Indicadores de la generación de residuos sólidos**

Los residuos sólidos se generan en todas aquellas actividades en las que los materiales son considerados por su propietario o poseedor como desechos sin ningún valor adicional y pueden ser abandonados o recogidos para su tratamiento o disposición final (Jaramillo,

2002). En la región de América Latina y el Caribe, los residuos sólidos municipales (RSM) se generan de las actividades residenciales y domiciliarias, comerciales, institucionales, industriales y de barrido de vías y áreas públicas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Actividades generadoras de residuos sólidos en la región de América Latina y el Caribe.

Actividades generadoras	Componentes	% del total de RSM
<b>Residencial y domiciliario</b>	Desperdicios de cocina, papeles y cartón, vidrio, metales, textiles, residuos de jardín, tierra, etc.	50 a 75
<b>Comercial</b> Almacenes, oficinas, mercados, restaurantes, hoteles y otros.	Papel, cartón. Plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales y peligrosos.	10 a 20
<b>Institucional</b> Oficinas públicas, escuelas, colegios, universidades, servicios públicos y otros.	Semejantes al comercial	5 a 15
<b>Industria (pequeña industria y artesanía)</b> Manufactura, confecciones de ropa, zapatos, sastrerías, carpinterías, etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Incluye residuos de comida, cenizas, demolición y construcción, especiales y peligrosos.	5 a 30
<b>Barrido de vías y áreas públicas</b>	Residuos que arrojan los peatones, tierra, hojas, excrementos, etc.	10 a 20

Fuente: Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington D.C. BID. OPS/OMS, 1997.

#### a) *Generación per cápita de residuos sólidos*

La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por día, kilogramos por vivienda por día, kilogramos por cuadra por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de animales por día (Jaramillo, 2002). En Perú, para el cálculo de la proyección de la GPC de residuos sólidos, se debe tener en cuenta que la GPC crece 1% anual (MINAM, 2012). Sin embargo, sabiendo que con el desarrollo y el crecimiento urbano y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular la producción per cápita total para cada año, con un incremento de entre 0.5 y 1% (Jaramillo, 2002).

### ***b) Generación total de residuos sólidos***

El conocimiento de la producción total de RSM permite tomar decisiones sobre el equipo de recolección, la necesidad de área para el tratamiento y la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa de aseo. El cálculo de la producción del sector residencial (domésticos) es predominante, siendo las demás actividades tan incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de residuos sólidos municipales, salvo los provenientes de los mercados y de los visitantes, cuando existen atractivos turístico (Jaramillo, 2002). Además, los RSD constituyen el 70% del total de los RSM (MINAM, 2008).

### ***c) Densidad***

La densidad o el peso volumétrico de los RSM es otro parámetro importante para el diseño del sistema de disposición final de residuos. En términos generales, los resultados de estudios sobre la composición de los RSM en países de América Latina y el Caribe, el peso específico alcanza valores de 125 a 250 kg/m<sup>3</sup>, cuando se miden sueltos; tales valores son mayores que los que presentan los países industrializados (Jaramillo, 2002).

## **2.2.4. Gestión y manejo de residuos sólidos**

### **a) Gestión de residuos sólidos**

En Perú, la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos define a la gestión de residuos sólidos como, toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos de ámbito nacional, regional y local.

La tendencia en la gestión de RSM, adoptada en los países desarrollados y que recomienda la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA), es la reducción en la fuente; en segundo lugar, el reciclaje, luego viene la combustión y, por último, la disposición final en rellenos sanitarios. Para los países en desarrollo, se presentan los mismos procesos en igual orden jerárquico, sólo que en lugar de la combustión (por sus altos costos, impracticable en estos países), se propone su tratamiento dado que contienen un gran porcentaje de material orgánico (Tabla 2). En ambas propuestas la disposición final en rellenos sanitarios forma parte de la estrategia (Jaramillo, 2002).

**Tabla 2.** Tendencias en la gestión integral de los residuos sólidos municipales

Países desarrollados	Países en desarrollo
Reducción en la fuente	Reducción en la fuente
Reciclaje	Reciclaje
Combustión	Tratamiento
Relleno sanitario <sup>a</sup>	Relleno sanitario

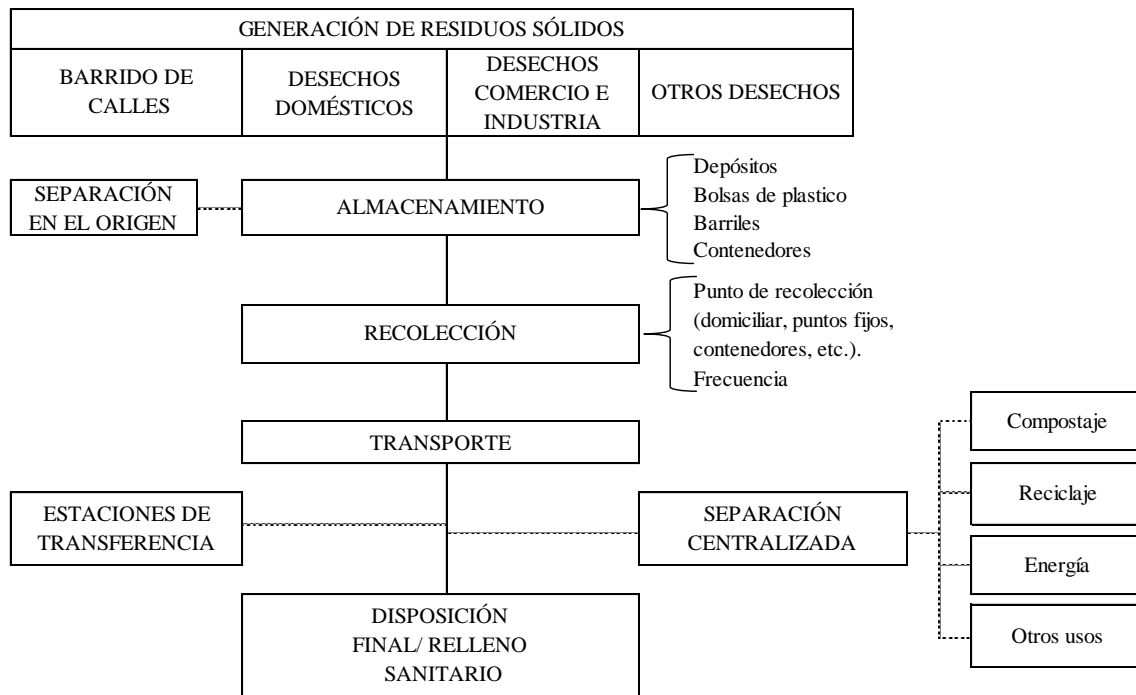
<sup>a</sup>Es posible apreciar que en algunos países desarrollados se empieza a desalentar el uso del relleno sanitario porque este método requiere grandes extensiones de área y por problemas ambientales locales. En consecuencia, la tendencia es construir grandes rellenos sanitarios, denominados rellenos sanitarios regionales, que sirven a varios conglomerados urbanos, donde se aplican los principios de ingeniería con importantes económicas de escala.

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Jaramillo, 2002. CEPIS/OPS. Colombia.

### a) Manejo de residuos sólidos

El manejo integral de residuos sólidos se define como la aplicación de técnicas, tecnologías y programas para lo lograr objetivos y metas óptimas para una localidad en particular (Brown, *et al.*, 2003). En Perú, la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos define al manejo de residuos sólidos como, toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final. Además, exige que los residuos sólidos sean manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final.

El mejoramiento del manejo de residuos sólidos debe empezar con un plan de acción que incluya el mejoramiento del sistema existente y una planificación con visión de futuro, incluyendo elementos imprescindibles, es decir, aquellos que no pueden faltar en el sistema, como la recolección, transporte y disposición final, complementados por estaciones de transferencia, almacenamiento temporal, separación centralizada o en punto de origen y compostaje por la comunidad o municipio (Brown, *et al.*, 2003) como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Elementos físicos del sistema de manejo de residuos sólidos.

Fuente: Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales, Brown, *et al.*, 2003.

A continuación se describe las principales actividades o componentes del sistema de manejo de residuos sólidos municipales:

- **Segregación en la fuente**

Un paso fundamental para la exitosa recuperación de residuos es separarlos en el punto de origen y es el generador quien tiene la responsabilidad de hacerlo (Jaramillo, 2002), y deben ser separados de acuerdo a las características uniformes de los residuos (CONAM, 2006), ya que la factibilidad de reaprovechar un mayor o menor porcentaje de residuos depende de las prácticas de segregación en las viviendas o establecimientos orientados a separar los residuos producidos por lo menos en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos, de esta forma se podrá reaprovechar una mayor cantidad de residuos que si la segregación se efectuara en etapas posteriores (MINAM, 2008).

- **Almacenamiento**

Es la actividad de colocar los residuos sólidos municipales en recipientes apropiados, de acuerdo con las cantidades generadas, el tipo de residuos y la frecuencia del servicio de recolección (Jaramillo, 2002). Además, consiste en la manipulación y clasificación temporal, y acondicionamiento de los residuos sólidos en la fuente de generación (MINAM, 2008).

- ***Recolección y transporte***

El recojo de los RSM implica su transporte al lugar donde deberán ser descargados. Este puede ser una instalación de procesamiento, tratamiento o transferencia de materiales o bien un relleno sanitario (Jaramillo, 2002). Existen diferentes opciones para el servicio de recolección domiciliaria de residuos sólidos, desde la recolección casa por casa hasta centros de acopios o almacenamiento temporal (Brown, *et al.*, 2003). Cuando se trata de ciudades pequeñas y medianas, la recolección y transporte se trabaja en forma conjunta, porque los vehículos que efectúan la recolección son los mismos que efectúan el transporte hasta el lugar de disposición final; sin embargo, en ciudades grandes es posible diferenciar estas etapas debido a que la etapa de transporte puede requerir de vehículos diferentes a los empleados para la recolección de residuos (MINAM, 2008).

La recolección y transporte es la actividad más costosa (Brown, *et al.*, 2003) del servicio de aseo urbano; en la mayoría de los casos representa entre 80 y 90% del costo total (Jaramillo, 2002). También se puede realizar la recolección selectiva, para lo cual todos los residuos producidos deben estar debidamente separados, de acuerdo a sus características uniformes, los que serían llevados al centro de acopio o planta de aprovechamiento (MINAM, 2006). La optimización del sistema de recolección es un paso que se puede tomar en el corto plazo para reducir costos y mejorar la calidad y cobertura (Brown, *et al.*, 2003).

- ***Transferencia***

Los centros de transferencia son estaciones que se utilizan para depositar los residuos en forma temporal para que sean transferidos a un vehículo de mayor capacidad, típicamente son lugares donde el contenido de los vehículos recolectores pequeños, es transferido a vehículos más grandes, para transportar al sitio de disposición final (Jaramillo, 2002 y Brown, *et al.*, 2003). En aquellas ciudades donde la distancia desde el punto de recojo hasta el de disposición final es superior a 20 km o el tiempo de viaje toma más de 15% de la jornada de trabajo, se presentan problemas económicos en el sistema porque el servicio resulta más costoso; en estos casos, se suele utilizar estaciones de transferencia y medios de transporte vial, ferroviario o barcasas (Jaramillo, 2002). De acuerdo a estudios técnicos y experiencia internacional, se requiere implementar una estación de transferencia cuando hay una distancia mayor a 30 km, desde la zona de recolección hasta el lugar de disposición final (MINAM, 2008). Asimismo, las estaciones de transferencia

se usan cuando el sitio de disposición final está ubicado a más de 50 km del punto de generación. Las estaciones de transferencia por si solas no son elementos para el manejo integral de residuos sólidos, son más bien tecnologías que permiten hacer más eficiente y económico un sistema de recolección y transporte. También pueden convertirse en centros de separación y recuperación de residuos útiles para la industria del reciclaje o compostaje (Brown, *et al.*, 2003).

- ***Reaprovechamiento***

El abastecimiento de materias no es ilimitado y la recuperación de residuos constituye un elemento esencial para la conservación de los recursos naturales; por lo tanto su reuso, reciclaje y empleo constructivo, constituyen una actividad importante en la gestión integral de los RSM, cuyo objetivo último es la disminución de su volumen y, especialmente, su aprovechamiento económico (Jaramillo, 2002).

- ***Tratamiento***

El tratamiento es un proceso que modifica las características físicas, químicas o biológicas de los residuos para aprovecharlos, estabilizarlos o reducir su volumen antes de la disposición final (Brown, *et al.*, 2003), además, el tratamiento tiene como objetivo principal disminuir los riesgos para la salud y su potencial contaminante (Jaramillo, 2002).

Los principales métodos de tratamiento son el compostaje, la lombricultura y la incineración, este último de gran impacto en la reducción de volumen (Jaramillo, 2002). Sin embargo, en Perú los RSM normalmente no requieren de tratamiento para reducir su nivel de peligrosidad, porque el manejo de residuos sólidos peligrosos o especiales escapa a las competencias tradicionales de las municipalidades (MINAM, 2008).

- ***Disposición final***

El reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, en su Artículo 82° señala que la disposición final de residuos del ámbito de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario. Por lo tanto, los botaderos son métodos de disposición final inadecuados.



### 2.2.5. Consecuencias del manejo inadecuado de residuos sólidos

El problema de los residuos sólidos municipales está presente en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones por su inadecuada gestión y tiende a agravarse a consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, el uso generalizado de envases, empaques y materiales desechables, que aumentan considerablemente la cantidad de residuos (Jaramillo, 2002). El mal manejo de residuos sólidos tiene impactos en la salud, el ambiente y la calidad de vida (Brown *et al.*, 2003).

#### a) Riesgos para la salud

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada; sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas, al lado de otros factores, principalmente por vías indirectas (Jaramillo, 2002).

- *Riesgos directos*

Son los ocasionados por el contacto directo con la basura, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de basura (Jaramillo, 2002). Además, el manipuleo inadecuado de los residuos contribuye a la generación y propagación de numerosas enfermedades y problemas de salud (CONAM, 2004). Los impactos directos sobre la salud afectan principalmente a los recolectores y segregadores formales e informales, agravándose cuando los desechos peligrosos no se separan en el origen y se mezclan con los desechos municipales (Brown *et al.*, 2003).

- *Riesgos indirectos*

El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias

de mayor gravedad (Jaramillo, 2002). Por otro lado, algunos impactos indirectos se deben a que los residuos en sí y los estancamientos que causan cuando se acumulan en zanjas y en drenes, se transforman en reservorios de insectos y roedores. Los insectos y roedores son causantes de enfermedades como dengue, la leptospirosis, el parasitismo y las infecciones de la piel. Además, la quema de basura a cielo abierto, en el campo y en los botaderos aumenta los factores de riesgo de las enfermedades relacionadas con las vías respiratorias, incluido el cáncer (Brown, *et al.*, 2003).

#### **b) Efectos en el ambiente**

El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales es el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural ocasionada por la basura arrojada sin ningún control (Jaramillo, 2002); además, el manejo inadecuado de los residuos sólidos contamina los recursos hídricos, el aire, el suelo y los ecosistemas (Brown, *et al.*, 2003).

Cada vez más común observar botaderos a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar (Jaramillo, 2002) que atraen aves y animales no deseables, y deteriora el valor estético de los hogares y de los paisajes (Brown, *et al.*, 2003). Por otro lado, los factores que determinan la forma e intensidad del impacto están relacionadas con el tipo predominante de residuos, distancia entre las zonas pobladas y los botaderos, profundidad de la napa freática, distancia y características de las fuentes de agua superficial que podrían verse afectados (CONAM, 2004).

- *Contaminación del agua*

El efecto ambiental más serio pero menos reconocido es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por el vertimiento de basura a ríos y arroyos, así como por el líquido percolado (lixiviado), producto de la descomposición de los residuos sólidos en los botaderos a cielo abierto (Jaramillo, 2002).

- *Contaminación del suelo*

La contaminación o el envenenamiento de los suelos es otro de los perjuicios de los botaderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas (Jaramillo, 2002).

- *Contaminación del aire*

Los residuos sólidos abandonados en los botaderos a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemaduras y los humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes (Jaramillo, 2002).

#### **2.2.6. Recuperación y reaprovechamiento de residuos sólidos**

El abastecimiento de materias no es ilimitado y la recuperación de los residuos constituye un elemento esencial para la conservación de los recursos naturales; por lo tanto su reúso, reciclaje y empleo constructivo se constituyen en una actividad importante en la gestión integral de los residuos sólidos municipales, cuyo objetivo último es la disminución de su volumen y su aprovechamiento económico; además, con la práctica del reciclaje se disponen menos residuos sólidos municipales y, en consecuencia, se aumenta su vida útil (Jaramillo, 2002); y los procesos para el reaprovechamiento de residuos sólidos son: segregación, recolección selectiva, centro de acopio/planta de reciclaje, comercialización, reciclaje en la industria (CONAM, 2006).

En Perú, la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos publicada el 21 de julio del 2000 y su modificatoria (Decreto Legislativo N° 1065), en el Artículo 4° de lineamientos de política, el lineamiento 5 señala “desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado”, así también, en su artículo 14° se señala que, dentro de las operaciones y procesos del sistema de manejo de residuos se tiene a la minimización de residuos, la segregación en la fuente y al aprovechamiento, además en el artículo 16° del Reglamento de la mencionada Ley indica que la segregación sólo está permitida en la fuente de generación o en la instalación de tratamiento operada por una empresa prestadora de servicios de residuos sólidos (EPS-RS), una empresa comercializadora de residuos sólidos (EC-RS) o una municipalidad, en tanto esta sea una operación autorizada.

A continuación se describe las consideraciones de reaprovechamiento que se deben tomar en cuenta (MINAM, 2008):

- Identificar las mejores opciones tecnológicas en la zona urbana para el reaprovechamiento de residuos comerciables y compostables.
- Ubicar estratégicamente las áreas para infraestructuras de reaprovechamiento.
- Emplear iniciativas de reaprovechamiento en zonas pilotos, para evaluar las mejores opciones de réplica en la jurisdicción.
- Para instalar una planta de reaprovechamiento se deberá considerar la identificación de un mercado estable que compren los materiales recuperados y/o compost.

La factibilidad de reaprovechar un mayor o menor porcentaje de residuos inorgánicos depende de las prácticas de segregación en las viviendas o establecimientos orientados a separar los residuos por lo menos en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos, de esta forma se podrá reaprovechar una mayor cantidad de residuos que si la segregación se efectuara en etapas posteriores (MINAM, 2008). Los residuos recuperados pueden reutilizarse o reciclarse. A continuación se describe estas formas de reaprovechamiento de residuos sólidos.

#### **2.2.6.1. El reúso o reutilización de residuos sólidos**

Un primer nivel de recuperación es el reúso, es decir, la utilización directa de un producto o material sin cambiar su forma o función básica. Un ejemplo es el reúso de envases de botellas, frascos de plástico y metal o cajas de cartón y madera (Jaramillo, 2002).

#### **2.2.6.2. Reciclaje de residuos sólidos**

El reciclaje es un proceso mediante el cual los residuos se incorporan al proceso industrial como materia prima para su transformación en un nuevo producto de composición semejante (Jaramillo, 2002). Un eficaz reciclado de los materiales secundarios incide positivamente sobre la calidad ambiental, debido a que favorece el uso sostenible de las materias primas, en tanto que la recuperación de energía a partir de los residuos contribuye a la conservación de la energía primaria, disminuyendo la utilización de combustibles fósiles. Es así que el reúso y el reciclaje pueden disminuir en forma considerable los requerimientos para el tratamiento y/o disposición final de residuos (Sandoval, 2006).

El reciclaje de residuos sólidos en el nivel municipal con segregación domiciliaria permitiría obtener un mejor material para los procesos de reciclaje, asimismo se eliminarían las condiciones informales e inhumanas en las cuales se desarrolla este proceso, además brindaría oportunidades de trabajo a las personas de escasos recursos, y permitiría gastar menos recursos en procesos de disposición final ya que se llevarían menores cantidades de residuos sólidos a los rellenos sanitarios (CONAM, 2006). Sin embargo, es importante garantizar la existencia de un mercado consumidor para los materiales, pues ningún sistema de recuperación de residuos tendrá éxito sin una venta asegurada de sus productos (Jaramillo, 2002). A continuación se describe los aspectos técnicos de los residuos reciclables.

#### *a) Plásticos*

La mayor parte de los plásticos están hechos a partir de simples moléculas de hidrocarburos monómeros, que se obtienen del petróleo o del gas. Estos monómeros son sometidos a una polimerización para formar polímeros más complejos de los cuales se fabrican los productos (CONAM, 2006). Por otro lado, la creciente escasez de materias primas para la síntesis de plásticos y la protección del ambiente, son razones suficientes para su reciclaje. En las ciudades de países pobres o de economía de transición, es frecuente ver residuos sólidos plásticos acumulados en basureros o tiraderos a cielo abierto. En los países desarrollados, los residuos sólidos plásticos, se emplean para generar energía eléctrica por incineración (Sandoval, 2006). Existen dos tipos de plásticos, los termoplásticos y los termoestables, como se indica a continuación (CONAM, 2006):

Los termoplásticos, se reblandecen al ser calentados y se endurecen al enfriarse. Mas del 80% de los plásticos existentes en el mercado son termoplásticos, entre los cuales se incluyen los siguientes:

Polietileno de alta densidad (PEAD): Utilizado para botellas de detergentes, productos alimenticios, tubos y juguetes.

- Polietileno de baja densidad (PEBD): Para productos como lamina adhesiva, bolsas para basura y contenedores flexibles.
- Teraftalato de polietileno (PET): Utilizado en botellas, alfombras y envases alimenticios.

- Polipropileno (PP): Utilizado en recipientes de yogurt y de margarina, piezas de automoviles, fibras, envases para leche.
- Plicloruro de vinilo (PVC): Se hace a partir del petroleo y sal y se utiliza para marcos de ventanas, recubrimientos de suelos, tubos y envases.

Los termoestables se endurecen por medio de un proceso de fraguado y no se pueden volver a fundir ni a moldear: los ejemplos que constituyen este 20% de plásticos termoestables son:

- Poliuretano (PU): Utilizado en revestimientos, acabados, colchones y asientos de vehículos.
- Epoxy: Adhesivos, embarcaciones, equipos deportivos, componentes eléctricos y de automoción.
- Fenólicos: Utilizados en hornos, tostadores, piezas de automóvil y placas de circuitos.

#### ***b) Papel y cartón***

El papel y cartón son una especie de filtro constituido por fibras vegetales entrecruzadas e imbricadas, a las cuales se agregan aglutinantes, cargas y otros aditivos en función del tipo de papel o cartón que se desee obtener; la materia prima utilizada en la fabricación de la pasta de papel es principalmente la madera, aunque también se puede utilizar el algodón y paja de cereales (CONAM, 2006). Se considera que, después de los residuos de alimentos, el principal “culpable” de que se saturen los rellenos sanitarios es el desecho celulósico. Se trata básicamente de revistas, papel periódico, de escritura, de fotocopiado y de computación (Sandoval, 2006).

#### ***c) Metales***

Los metales en términos generales, se clasifican de acuerdo a la presencia de hierro en su composición en (CONAM, 2006):

- *Metales ferrosos*: Son aquellos que contienen hierro como su componente principal, es decir, las numerosas calidades de hierro y acero, que pueden contener otros elementos pero en baja composición.
- *Metales no ferrosos*: Son aquellos que no contienen hierro, entre estos se encuentran el aluminio, magnesio, zinc, cobre, plomo y otros elementos metálicos. Las

llamadas no ferrosas, como el latón y el bronce, son una combinación de algunos de estos metales.

#### **d) Vidrio**

El vidrio es silicato que se funde a 1200 grados, fabricada esencialmente de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) procedente principalmente del cuarzo, acompañado de caliza y otros materiales que le dan las diferentes coloraciones (MINAM, 2008). El vidrio se fabrica a partir de materias primas inertes y abundantes en la naturaleza y fáciles de obtener, que incluyen: arena silícea blanca, sosa y caliza. Las cenizas vitrificadas, el sulfato de sodio, el feldespató, la argonita y los vidrios rotos son otros ingredientes frecuentemente utilizados para fabricar envases de vidrio (Sandoval, 2006).

Además, una botella de vidrio que se funda dará lugar a una botella igual, sin ninguna pérdida de calidad. No se genera ningún residuo o producto secundario en el proceso de fabricación, y el mismo vidrio puede hacerse y rehacerse de forma repetida para formar la botella. Esta característica hace del vidrio uno de los pocos bienes que es al 100% reciclable. Desde el punto de vista del color los más empleados son (Sandoval, 2006):

- El verde (60%): Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores, cerveza, aunque en menor cantidad en este último.
- El blanco (25%): Usado en bebidas gaseosas, zumos y alimentación en general.
- El extra claro (10%): Empleado esencialmente en aguas minerales, tarros y botellas de decoración.
- El opaco (5%): Aplicando en cervezas y algunas botellas de laboratorio.

#### **e) Materia orgánica putrescible**

Los residuos orgánicos, son residuos que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos como lombrices, hongos y bacterias principalmente. Los residuos orgánicos se generan de los restos de los seres vivos, como plantas y animales, por ejemplo, cascaras de frutas y verduras, huesos, etc. (CONAM, 2006). Dado el alto volumen de residuos orgánicos se recomienda implementar plantas de tratamiento de residuos orgánicos. Las alternativas para el reciclaje de la materia orgánica son para la obtención de compost y humus de lombriz (MINAM, 2006 y MINAM, 2008), otra opción de aprovechar es la obtención de fertilizantes orgánicos y generación de biogás, mediante el uso de sistemas llamadas biodigestores (Taboada *et al.*, 2013 y Sandoval, 2006).

- **Compostaje de residuos sólidos**

Se llama compostaje a la descomposición aeróbica de los materiales orgánicos biodegradables por microorganismos bajo condiciones controladas a altas temperaturas a través del tiempo para producir un material estable parecido a la tierra llamado compost (Brown, *et al.*, 2003). El compostaje es un proceso biológico de oxidación de residuos provocado y controlado por los microorganismos del ambiente, utilizando el oxígeno del aire (Sandoval, 2006). El compostaje es un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción bacteriológica de microorganismos contenidos en los mismos residuos orgánicos, de lo que resulta un producto denominado compost (Jaramillo, 2002).

El compost es un abono orgánico que resulta de la descomposición de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, bajo condiciones controladas, buena aireación, humedad y que necesita pasar por una fase de calor o termófila (Sandoval, 2006), sin embargo, otra definición, es que el compost es un material similar al humus (tierra); mejora los suelos pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial. Sin embargo, este valor suele ser menor que el costo de producción, por lo que este sistema debe ser subsidiado por el municipio (Jaramillo, 2002). Compost es un abono útil en la agricultura, jardinería y obras públicas; mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, hace más suelto y poroso los suelos compactados y enmienda los arenosos, hace que el suelo retenga más agua (MINAM, 2006). El compost contiene nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, por ello, se utiliza en la producción de hortalizas, flores y árboles. Su uso potencial y mejor característico es como mejorador de suelos (Brown, *et al.*, 2003).

Además, aproximadamente 50% de los residuos municipales son orgánicos, por ende al reciclarlos se ahorraría el 50% en gastos de disposición final, además se evitaría la contaminación de cuerpos de agua, del suelo y aire (CONAM, 2006). Para ello se emplean instalaciones que cuentan con áreas de separación de la materia orgánica, formación de rumas y volteos, almacenamiento entre otros (MINAM, 2008), y si las condiciones son ideales se puede aplicar el compost a los cultivos después de tres meses de haberse iniciado el proceso de compostaje (Brown, *et al.*, 2003 y Sandoval, 2006).

La experiencia ha demostrado que para las zonas rurales y pequeñas ciudades el tipo de tratamiento biológico en forma de compostaje es uno de los más viables, principalmente



porque el producto puede utilizarse directamente en los terrenos agrícolas propios de estas zonas (Sandoval, 2006), este método de compostaje puede ser beneficioso para los países en desarrollo, ya que mediante este proceso es posible recuperar el gran porcentaje de materia orgánica que contienen los residuos sólidos municipales. Pero antes de decidir la construcción de una planta de compostaje, se debe estudiar cuidadosamente si el producto cuenta con un mercado potencial, ya que muchas plantas en el mundo han fracasado por no poder comercializar el producto (Jaramillo, 2002). En general, nuestra sociedad tiene una magnífica oportunidad para disponer de abono de calidad de las inmensas cantidades de residuos sólidos orgánicos que diariamente se genera para una agricultura que exige sea orgánica y sostenible (Quispe, 2015).

Los abonos orgánicos como el compost son una alternativa para que el suelo recupere algunas de sus propiedades como la retención de humedad, activar a los microbios del suelo y la capacidad de retener nutrientes. Este tipo de abono es fácil de producir, sin embargo requieren de criterios técnicos para obtener mejores resultados de calidad y de eficiencia económica (Sandoval, 2006).

El compostaje en nuestro medio ha tenido poco éxito porque (Jaramillo, 2002):

- Requiere la separación previa de los residuos sólidos municipales, lo que aumenta los costos. A no ser que se recolecten selectivamente aquellos con alto contenido de materia orgánica.
- El tratamiento de grandes cantidades adicionales es poco flexible.
- El mercado del compost es inestable.
- La inversión de capital es elevada.
- Los costos de operación y mantenimiento de la planta de compostaje son altos.
- Requiere técnicos calificados para manejar la planta.
- Los costos de transporte hacia las zonas rurales son altos.

Las ventajas del uso de compost son (Sandoval, 2006):

- Mejorador de las propiedades del suelo: La utilización del compost como enmienda orgánica o producto restituidor de materia orgánica en los terrenos de labor tiene un gran potencial, ya que la presencia de dicha materia orgánica en el suelo en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad:
  - o *Mejora las propiedades físicas del suelo.*
  - o *Mejora las propiedades químicas.*

- *Mejora la actividad biológica del suelo.*
  - Facilita el manejo de estiércoles: El compostaje reduce el peso, el volumen, el contenido de humedad, y la actividad de los estiércoles. El compost es mucho más fácil de manejar que los estiércoles, y se almacena sin problemas de olores o de insectos y puede ser aplicado en cualquier época del año.
  - Mejora la disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas: El compost convierte el contenido en nitrógeno presente en los estiércoles en una forma orgánica más estable.
  - El compostaje disminuye la relación carbono/nitrógeno a niveles aceptables para la aplicación al suelo.
  - El calor generado mediante el proceso de compostaje reduce la viabilidad de las semillas de malezas que pudieran estar presentes en el estiércol.
  - Disminuye los riesgos de contaminación y malos olores: Los principales inconvenientes del estiércol son los olores y la contaminación por nitratos. El compostaje puede principalmente disminuir estos problemas.
  - Destruye los patógenos: La destrucción de patógenos durante la fase termófila permite la utilización no contaminante del abono orgánico.
- ***Humus de lombriz***

El humus de lombriz, es un abono totalmente natural y ecológico elaborado por la lombriz roja de California a partir de los residuos orgánicos, el compost o diferentes estiércoles de animal, es apto para cualquier tipo de cultivo. El humus es una materia homogénea, amorfa, de color oscuro e inodora. Los productos finales de la descomposición del humus son sales minerales, dióxido de carbono y amoníaco (CONAM, 2006). Para su producción se emplean instalaciones similares a las de compostificación y en el proceso se incorporan las lombrices encargadas de transformar el compost en humus (MINAM, 2008); además, la lombricultura produce un compost de alto valor económico (Brown, *et al.*, 2003).

El cultivo de la lombriz *Eisenia foétida* con ciertos residuos orgánicos como sustrato o alimento (sobre todo, estiércol de ganado y residuos de cosechas) permite la conversión de este recurso en humus (mejorador de suelos) y proteína (como alimento de animales e incluso para el consumo humano), soluciona en parte el problema de la disposición de los residuos sólidos municipales y puede producir beneficios económicos. Es necesario tener especial cuidado con estas prácticas, pues sólo deben ser consideradas como

alternativas complementarias en la gestión integral de los residuos sólidos municipales y de ninguna manera como la solución al problema (Jaramillo, 2002).

- ***Producción de biogás y fertilizantes orgánicos***

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación del material orgánico en condiciones anaeróbicas y está constituido principalmente por gas metano y bióxido de carbono. La producción de biogás se realiza en plantas llamadas biodigestores; para diseñar, construir y operar estas plantas, es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano. El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana, como por ejemplo la temperatura (Sandoval, 2006).

### **2.2.7. Disposición final de residuos sólidos**

El municipio debe tener un sitio adecuado para la disposición final de aquellos residuos que no tienen valor económico. Este sitio debe ser evaluado técnicamente y ser el resultado de un análisis de alternativas que llene las condiciones y requisitos ambientales para no alterar el ecosistema y especialmente para no contaminar los cuerpos de agua (Brown *et al.*, 2003).

#### **2.2.7.1. Botaderos de residuos sólidos**

La forma más común de disposición final de residuos sólidos es el botadero (Brown, *et al.*, 2003), y es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que el mismo produce en sus diversas actividades. Se llama botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación, tratamiento (Jaramillo, 2002) y control; los residuos no se compactan ni cubren diariamente y eso produce olores desagradables, gases y líquidos contaminantes. Muchas veces en los botaderos existen recicladores y criadores de cerdos que ponen en riesgo la salud y contaminan el ambiente. Asimismo, contaminan las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire; y es foco de proliferación de insectos y roedores que transmiten enfermedades (Jaramillo, 2002 y CONAM, 2004). La disposición final en botadero, si bien es la modalidad más barata, también es la que ocasiona más problemas ambientales. Los botaderos atraen animales y son centros de proliferación de ratas, moscas, cucarachas y otros insectos. Además, la lluvia que cae sobre los residuos produce lixiviados (líquidos percolados), los cuales pueden contaminar las fuentes de agua

superficiales (ríos o lagunas) o subterráneas (agua de pozos) (Brown, *et al.*, 2003).

En Perú la VI Disposición Complementaria de planes provinciales de gestión integral de residuos sólidos de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos y su modificatoria, señala que las municipalidades provinciales incorporarán en su presupuesto, partidas específicas para la elaboración y ejecución de sus respectivos Planes Integrales de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos, en los cuales deben incluirse la erradicación de los botaderos existentes o su adecuación de acuerdo a los mandatos establecidos en la presente Ley. En la actualidad, el hecho de que los municipios abandonen sus basuras en botaderos a cielo abierto es considerado una práctica irresponsable para con las generaciones presentes y futuras, así como opuesta al desarrollo sostenible (Jaramillo, 2002).

#### **2.2.7.2. Relleno sanitario**

La alternativa más adecuada para la disposición final de los residuos sólidos en las ciudades y localidades del Perú, así como en la mayoría de los países en desarrollo, es el relleno sanitario (Sandoval, 2006), el cual se define como un método de ingeniería para disponer residuos sólidos en el suelo de tal forma que proteja el ambiente (Brown, *et al.*, 2003). El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos que no causa peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen (Jaramillo, 2002), se controla el tipo y la cantidad de residuos, (CONAM, 2004). Además, prevé los problemas que pueden causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Jaramillo, 2002), la humedad de los residuos y por las lluvias (CONAM, 2004).

Los elementos principales que forman parte de estas instalaciones son (Sandoval, 2006):

- *Trinchera y/o terraplenes:* Lugar donde se entierran los residuos sólidos.
- *Sistema de tratamiento de lixiviados:* Compuestos por drenes colectores que decantan los líquidos lixiviados de los residuos. También se considera la impermeabilización del terreno, así como pozos de monitoreo para detectar la probable contaminación.

- *Sistema de evacuación de aguas pluviales:* Drenes alrededor de las trincheras para evitar el ingreso de aguas de lluvia.
- *Drenaje de gases:* Permiten evacuar los gases producto de la degradación de la materia orgánica a través de la colocación de conductos verticales construidos en el interior de las trincheras llamados chimeneas.

Los residuos que se deberán disponer en el relleno son el residencial, comercial, limpieza pública y mercados. No se deben recibir otros tipos de residuos que ocasionen problemas en el relleno, los mismos que pueden tener características de explosividad, reactividad, radiactividad, corrosividad o inflamabilidad (Sandoval, 2006). Los rellenos pueden ser manuales o mecánicos (Brown, *et al.*, 2003), y estos se pueden ser relleno sanitario manual, semi-mecanizado y mecanizado.

- ***Relleno sanitario manual***

Es un adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen (menos de 15 t/día), además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento (Jaramillo, 2002). Las operaciones son del tipo manual, sin uso de maquinaria (MINAM, 2008), el término manual se refiere a que la operación de compactación puede ser ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas (Jaramillo, 2002).

Los rellenos sanitarios manuales no necesitan equipos pesados permanentes para su operación, si no herramientas sencillas como palas, azadones, piochas, rastrillos, apelmazadoras manuales, etc. Únicamente requiere equipo pesado para preparar el sitio, construir las vías internas, excavar las zanjas o extraer material de cobertura. Es viable implementar en poblaciones que tengan menos de 40 000 habitantes o que generen menos 20 toneladas diarias de residuos sólidos. Si hubiera dos o tres comunidades muy pequeñas relativamente cerca se puede hacer un solo relleno para atender a todas. Básicamente existen dos métodos para realizar un relleno sanitario manual: el método se zanja o trinchera y el método de área (Brown, *et al.*, 2003).

- ***Relleno sanitario semi-mecanizado***

Este tipo de relleno sanitario emplea una cantidad mínima de maquinarias para las operaciones propias del relleno (MINAM, 2008), es recomendable cuando la población

genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos municipales, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno (Jaramillo, 2002).

- ***Relleno sanitario mecanizado***

Es tipo de relleno hace empleo extensivo de maquinaria (MINAM, 2008), diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección de sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento. Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, entre otros (Jaramillo, 2002).

En Perú, el Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, establece la capacidad de los tres tipos de rellenos sanitarios:

- *Relleno sanitario manual*: Cuya capacidad de operación diaria no excede a 20 toneladas.
- *Relleno sanitario semi-mecanizado*: Cuya capacidad de operación diaria no exceda a 50 toneladas.
- *Relleno sanitario mecanizado*: Cuya capacidad de operación diaria es mayor a 50 toneladas.

#### **2.2.8. Financiamiento del servicio de limpieza pública**

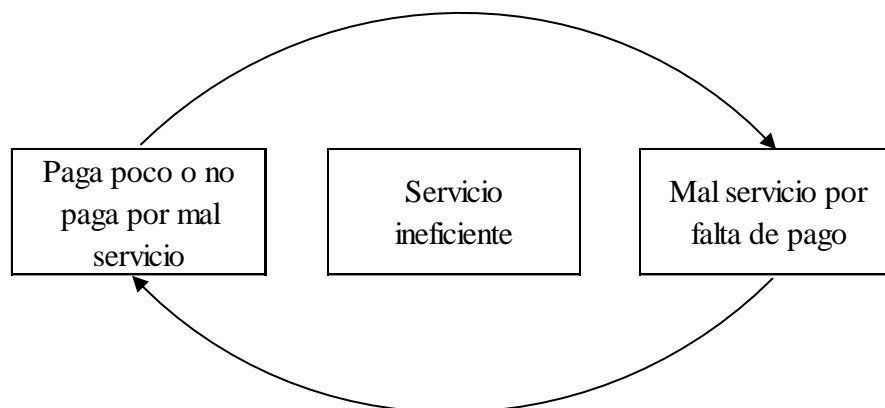
Además, de la poca educación sanitaria y la escasa participación ciudadana generan una gran resistencia al momento de pagar los costos que implican el manejo y la disposición de residuos (Jaramillo, 2002). En Perú los recursos para el manejo de residuos sólidos provienen de los arbitrios, sin embargo, en general la tasa de morosidad es alta. Por ello, es importante señalar que, los cobros por concepto de manejo y tratamiento de residuos

sólidos pueden realizarse en base a la cantidad de residuos que se generan. Mientras más residuos se generen en alguna casa, esta deberá pagar una cantidad mayor por el manejo y tratamiento de esos residuos, y viceversa. Este cambio en actitud puede verse reflejado de dos maneras (Sandoval, 2006):

- Una mayor participación ciudadana en los programas de reciclaje/compostaje, que se refleja en un mayor beneficio potencial para las autoridades responsables del manejo integral de los residuos sólidos.
- La elección y compra de productos y servicios que generan una cantidad mínima de residuos sólidos. Este constituye un mensaje claro en términos comerciales para los productores/fabricantes, de manera que el diseño de productos que generen menos residuos sólidos para el consumidor representa un atributo mercadotécnico positivo.

El principio “el que contamina paga” establece que el costo de los impactos ambientales debe ser pagado por aquellos que causan la contaminación. Este principio también es conocido como “responsabilidad compartida” (Sandoval, 2006). En Centroamérica se ha implementado el cobro por el servicio de aseo con una tasa de impuesto general (Quetzaltenango, Guatemala) o junto con el agua (Esquipulas, Guatemala) o la electricidad (San Salvador, El Salvador) para reducir la morosidad; conjunto de mecanismos legales para el corte de los servicios de agua o electricidad si no se paga el servicio de aseo (Brown, *et al.*, 2003).

Se debe promover que el sistema pase de ser un servicio al crédito a un servicio al contado: “mes servido mes pagado”. Sin embargo, se crea un círculo vicioso, donde la ciudadanía no está dispuesta a pagar por un servicio ineficiente y las municipalidades no pueden brindar un servicio eficiente sin recursos económicos (Brown, *et al.*, 2003).



**Figura 2.** Círculo vicioso del manejo de residuos sólidos.

Fuente: Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales, Brown, *et al.*, 2003.

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Aerobio.-** Un proceso bioquímico o una condición ambiental que ocurre en presencia de oxígeno (Brown, *et al.*, 2003).

**Anaerobio.-** Un proceso bioquímico o una condición ambiental que ocurre en ausencia de oxígeno (Brown, *et al.*, 2003).

**Botadero.-** Lugar inadecuado de disposición final de residuos sólidos en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios y/o ambientales (Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos).

**Compostaje.-** Descomposición controlada de desechos orgánicos sólidos en condiciones aeróbicas. Puede realizarse en pilas, pilas estáticas y contenedores cerrados (Brown, *et al.*, 2003).

**Disposición final.-** Procesos u operaciones para disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura (Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos).

**Lixiviado.-** Es el líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura y atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes (Jaramillo, 2002).



**Minimización.-** Acción de reducir al mínimo posible el volumen y peligrosidad de los residuos, a través de cualquier estrategia preventiva, procedimiento, método o técnica utilizada en la actividad generadora (Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos).

**Reciclaje.-** Toda actividad que permite reaprovechar un residuo sólido mediante un proceso de transformación para cumplir su fin inicial u otros fines (Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos).

**Relleno sanitario.-** Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales (OPS, 2003).

**Residuos domiciliarios.-** Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios (Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos).

**Segregación.-** Segregación. Actividad que consiste en recuperar materiales reusables o reciclados de los residuos (OPS, 2003).

**Vida útil.-** Periodo estimado durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir residuos sólidos de manera continua (Jaramillo, 2002).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, región Puno. El distrito de Antauta está ubicado al norte de la región Puno, a una altitud de 4150 msnm, dentro de las coordenadas geográficas Longitud Oeste: 24°17'57", Latitud Sur: 70°17'32". Su extensión territorial es de 636.2 km<sup>2</sup>, con una densidad de 39 hab./km<sup>2</sup>. Por sus características geográficas, el clima durante todo el año es propio del altiplano, templado – frío – seco con dos estaciones características, de diciembre a marzo se caracteriza por ser la temporada de lluvias y el resto del año es considerado la temporada seca. La temperatura ambiental anual alcanzada es de 15.5°C, las temperaturas más bajas se presentan en los meses de mayo a julio (hasta -17°C) y las más altas se presentan en los meses de octubre a diciembre. Las precipitaciones pluviales, obedecen a una periodicidad anual de cuatro meses (diciembre a marzo), se debe notar que esta periodicidad, a pesar de determinar las campañas agrícolas, puede variar según las características pluviales del año, originando inundaciones o sequías, así como la presencia de granizadas y heladas. De la población económicamente activa (PEA) del distrito de Antauta el 35.44% se dedica a la agricultura, ganadería y similares, y el 27.22% se dedica a la minería y 6.43% al comercio por menor; el 14.79% de la población de Antauta no tiene ningún tipo de educación, el 42.28% tiene educación primaria, el 29.17% tiene educación secundaria y sólo el 4.19% tiene educación universitaria completa; el 40.34% de la población de Antauta reside en la zona rural y el 59.66% reside en la zona urbana; la incidencia de pobreza total es de 77.30% y la incidencia de pobreza extrema es de 40.50% (INEI, 2007).

#### 3.2. TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio es exploratorio descriptivo, porque se describe las características de cada uno de los parámetros de interés de los residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta.

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. Cálculo de población actual

El cálculo del tamaño de la población y el número de viviendas urbanas del distrito de Antauta al año 2016, se realizó de acuerdo a los procedimientos recomendados por la guía metodológica para la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales del MINAM (2012) y la guía metodológica para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales del MINAM (2015), los mismos que recomiendan primero calcular la tasa de crecimiento intercensal del distrito y luego proyectar la población actual en base a los últimos censos de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). La fórmula recomendada para estimar la tasa de crecimiento intercensal es la siguiente:

$$TC = 100 \times \left( \sqrt[n]{\frac{\text{Población final}}{\text{Población inicial}}} - 1 \right)$$

Donde:

TC = Tasa de crecimiento

n = Número de años entre la población final y población inicial

Después de reemplazar los datos de población final (INEI, 2007) y la población inicial (INEI, 1993) del distrito de Antauta, la tabla 3 muestra que la tasa de crecimiento intercensal del distrito de en estudio es negativo (-1.31%), por esta razón, para estimar la población urbana del distrito de Antauta, se consideró la tasa de crecimiento intercensal de la provincia de Melgar (0.27%).

$$TC = 100 \times \left( \sqrt[14]{\frac{74,735}{72,005}} - 1 \right) = 0.27\%$$

**Tabla 3.** Tasas de crecimiento intercensal

Lugar	Población censada		Tasa de crecimiento
	1993	2007	
Departamento de Puno	1,079,849	1,268,441	1.16%
Provincia de Melgar	72,005	74,735	0.27%
Distrito de Antauta	6,003	4,993	-1.31%

Fuente: INEI - Censo de Población y Vivienda, 1993 y 2007.

Con la tasa de crecimiento intercensal de estimada, se calculó la población urbana del distrito de Antauta al año 2016, utilizando la fórmula recomendada por la guía metodológica para la elaboración del estudio de caracterización para residuos sólidos municipales del MINAM (2012):

$$Pt = Po * (1 + r/100)^n$$

Donde:

Pt = Población en el año “t”, que vamos a estimar.

Po = Población en el “año base” (conocida).

r = Tasa de crecimiento inter censal.

n = Número de años entre el “año base” (año cero) y el año “n”

Considerando que la población urbana en el año 2007 fue de 2,212 habitantes (tabla 4) según el último Censo de Población y Vivienda (INEI, 2007) y utilizando la tasa de crecimiento intercensal de la provincia de Melgar, porque la tasa de crecimiento del distrito de Antauta es negativo (tabla 3), se estimó una población urbana de 2,266 habitantes al año 2016.

$$Pt = 2,212 (1 + 0.27/100)^9 = 2,266.34 \text{ habitantes}$$

**Tabla 4.** Población del distrito de Antauta

Zona	Población censada	
	1993	2007
Urbano	577	2,212
Rural	5,426	2,781
Total	6,003	4,993

Fuente: INEI - Censo de Población y Vivienda, 1993 y 2007.

Asimismo, la tabla 5 muestra las proyecciones de la población y el número de viviendas urbanas al año 2016, que se estimó dividiendo la población urbana actual (2,266) entre el valor promedio asumido de 4 habitantes por vivienda, resultando así 567 viviendas urbanas para el año 2016.

**Tabla 5.** Proyección de la población urbana del distrito de Antauta

N°	Año	Número de habitantes	Número de viviendas
0	2016	2,266	567
1	2017	2,272	568
2	2018	2,279	570
3	2019	2,285	571
4	2020	2,291	573
5	2021	2,297	574
6	2022	2,303	576
7	2023	2,310	578
8	2024	2316	579
9	2025	2322	581
10	2026	2328	582

### 3.3.2. Cálculo del tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula recomendada por Cantanhede *et al.* (2005), por la guía de metodológica para la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2012) y la guía metodológica para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015), que a continuación se muestra:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N - 1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}$$

Donde:

n = muestra de las viviendas

N = total de viviendas

Z = nivel de confianza 95% = 1.96

σ = desviación estándar

E = error permisible

Considerando que el número de viviendas urbanas al año 2016 del distrito de Antauta es de 567 viviendas (Tabla 6) y utilizando un nivel de confianza de 95%, una desviación estándar de 0.25 kg/hab./día y un error permisible de 0.061 kg/hab./día, recomendados por la guía metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015), se calculó una muestra de 58 viviendas. Con el propósito de evitar la pérdida de muestra por ausencia de los moradores de las viviendas

y por motivos ajenos al normal desarrollo del estudio, se consideró incrementar la muestra en 15% como contingencia, obteniéndose una muestra total de 67 viviendas.

$$n = \frac{1.96^2 \times 567 \times 0.25^2}{(567 - 1) \times 0.061^2 + 1.96^2 \times 0.25^2} = 58.02 + 15\% = 67 \text{ viviendas}$$

### 3.3.3. Selección de las viviendas

La población urbana del distrito de Antauta al ser una población pequeña (2266 habitantes y 567 viviendas) tiene características relativamente homogéneas y de acuerdo a la recomendación de la guía de metodológica para la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2012) y la guía metodológica para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015), en estos casos, se debe considerar como una población de un sólo estrato o puede sectorizarse por barrios, sectores, urbanizaciones, entre otros. Además, en los estudios realizados sobre producción de basura en pequeñas localidades (menos de 40, 000 habitantes) de América Latina y el Caribe, no se han encontrado grandes diferencias entre los diferentes estratos socioeconómicos de la población (Jaramillo, 2002). Por lo tanto, la muestra de viviendas urbanas del distrito de Antauta para el estudio, se seleccionó utilizando el método de muestreo aleatorio simple (Cantanhede *et al.*, 2005 y MINAM, 2015), para lo cual, utilizando el plano catastral del distrito de Antauta (Figura A.1 del Anexo A), se identificó 6 barrios y/o urbanizaciones. Asimismo, se determinó el número de viviendas a ser seleccionadas de acuerdo al tamaño de cada barrio y/o urbanización, realizando además, una distribución preliminar aleatoria de las viviendas seleccionadas en el plano catastral, que se ajustó al momento de hacer la invitación a los jefes de hogar mediante un documento. Adicionalmente, durante la identificación y selección de las viviendas participantes, se comprometió al residente para su participación en el estudio, registrando el nombre, la dirección y el número de habitantes.

## 3.4. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación, se realizó coordinaciones con el área de Medio Ambiente de la Municipalidad Distrital de Antauta, principalmente con el área técnica operativa que brinda servicios de limpieza pública, el cual facilitó la disponibilidad del personal de limpieza pública, equipos, implementos y medio de transporte para la toma de muestra de RSD urbanos del distrito de Antauta.

Previo a la recolección de las muestras de RSD, se brindó charlas vivienda por vivienda sobre la importancia del estudio y aspectos técnicos sobre la manipulación y almacenamiento de las muestras. Posteriormente se les entregó bolsas vacías rotuladas a los propietarios de cada una de las viviendas participantes y se les solicitó que depositen en ellas los residuos generados en las viviendas, considerando las recomendaciones de Cantanhede *et al.* (2005) de que procuren no cambiar sus costumbres o rutina diaria. Luego al día siguiente se procedió a recoger las bolsas con residuos y se entregó otras bolsas vacías, procurando efectuar en el mismo horario. Después de recoger las bolsas con muestras se llevó al lugar acondicionado para el registro de los pesos de cada una de las muestras y, la clasificación y registro de pesos de los componentes de RSD. Esta operación se realizó durante 8 días consecutivos considerando las recomendaciones de Cantanhede *et al.* (2005); MINAM (2012) y MINAM (2015).

#### **3.4.1. Determinación de la generación y composición de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta**

Para logro de este objetivo, los parámetros considerados fueron: (1) la generación per cápita y la generación total y (2) la composición de RSD urbanos del distrito de Antauta.

##### **a) Generación de residuos sólidos domiciliarios del distrito de Antauta**

Para determinar la generación per cápita (GPC) y generación total de residuos sólidos domiciliarios (RSD) se siguió la metodología recomendada por la guía de metodológica para la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2012), la guía metodológica para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015) y los procedimientos estadísticos para estudios de caracterización de residuos sólidos en los países de la región de América Latina y el Caribe (Cantanhede *et al.*, 2005).

- *Estimación de la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios*

La GPC de RSD se estimó en base a los registros de pesos diarios de muestras de residuos recolectados durante 8 días consecutivos, de las cuales los pesos del primer día no se utilizaron para el cálculo, porque se desconoce los días de almacenamiento (MINAM, 2012 y MINAM, 2015). Para estimar la GPC del distrito de Antauta, primero se estimó la GPC por cada vivienda, para ello, se realizó la sumatoria de los pesos de las muestras

de residuos de los 7 últimos días y luego se dividió por el número de habitantes de cada vivienda multiplicado por 7 días, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$GPC_i = \frac{\text{Día 1} + \text{Día 2} + \text{Día 3} + \text{Día 4} + \text{Día 5} + \text{Día 6} + \text{Día 7}}{\text{Número de habitantes} \times 7 \text{ días}}$$

Una vez obtenida la GPC de cada vivienda, se procedió a estimar la GPC del distrito de Antauta, utilizando la siguiente fórmula:

$$GPC = \frac{GPC_1 + GPC_2 + GPC_3 + \dots + GPC_n}{n}$$

- *Estimación de la generación total de residuos sólidos domiciliarios*

La generación total de RSD en el distrito de Antauta, se estimó multiplicando el número de habitantes al 2016 y la GPC promedio de RSD, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Generación total de RSD} = GPC \times \text{habitantes}$$

Adicionalmente se realizó la proyección de la GPC y a partir de ella la generación total de RSD. Para el cálculo de la proyección de la GPC de residuos sólidos, se consideró que la GPC crece 1% anual (MINAM, 2012), como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Proyección GPC} = GPC \text{ inicial} + (GPC \text{ inicial} \times 0.01)$$

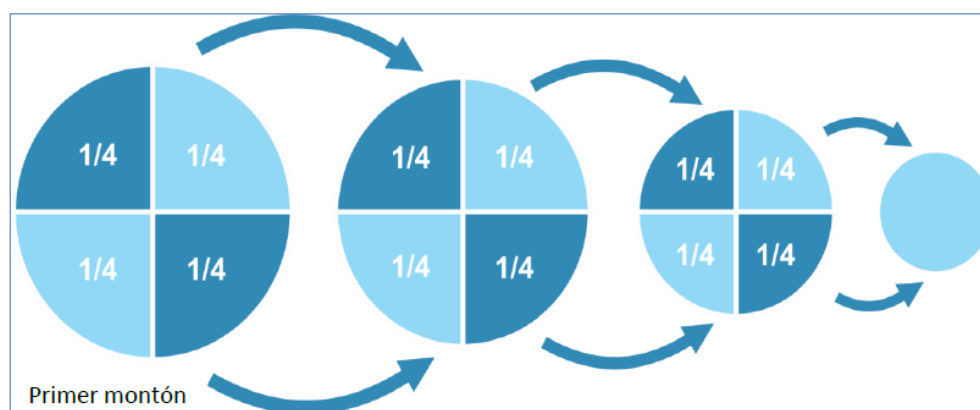
#### **b) Composición de residuos sólidos domiciliarios del distrito de Antauta**

Para determinar la composición de RSD se siguió los procedimientos de la guía metodológica para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015) y los procedimientos estadísticos para estudios de caracterización de residuos sólidos en los países de la región de América Latina y el Caribe (Cantanhede *et al.*, 2005).

Para ello se utilizó la muestra de un día, rompiendo las bolsas con muestras, se vertió sobre una lámina plástico grande (a fin de no agregar tierra a los residuos) formando un montón. Con la finalidad de homogenizar la muestra, se trozaron los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño de 15 cm o menos (Cantanhede *et al.*, 2005). El montón de residuos sólidos se dividió en cuatro partes (método de cuarteo) y se



escogieron las dos partes opuestas (figura 3) para formar un nuevo montón más pequeño. La muestra menor se volvió a mezclar y dividir en cuatro partes, esta operación se repitió hasta obtener una muestra manejable (MINAM, 2015) y durante 7 días. Luego manualmente se separaron los componentes del ultimo montón y se clasificó de acuerdo a las categorías señaladas en el Anexo 6 del instructivo para implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios en viviendas urbanas del distrito del MINAM (2015), el mismo que se muestra en la tabla B.1 del Anexo B.



**Figura 3.** Método de cuarteo para obtener la muestra de residuos sólidos.

Fuente: Guía metodológica para el desarrollo de EC-RSM, MINAM, 2015.

Posteriormente, se calculó los pesos de cada uno de los componentes de los RSD y se estimó el porcentaje de cada uno de los componentes, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{P_c}{P_t} \times 100$$

Donde:

$P_c$  = Peso total de los residuos sólidos recolectados en el día.

$P_t$  = Peso de cada componente de los residuos sólidos.

Finalmente se identificó a los residuos recuperables (compostables y comerciables) y no recuperables (no reciclables), estimando además el porcentaje de cada una de las fracciones. Para el caso de los residuos reciclables comerciables, se debe identificar los residuos que pueden ser reaprovechados en función a su demanda y valor en el mercado del reciclaje de acuerdo a la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015).

### **3.4.2. Evaluación del potencial de recuperación de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta**

Para logro de este objetivo, los parámetros considerados fueron: (1) potencial de recuperación y reaprovechamiento de RSD urbanos reciclables compostables, (2) potencial de recuperación y reaprovechamiento de RSD urbanos reciclables comerciables y (3) estimación de la prolongación de vida útil del relleno sanitario manual del distrito de Antauta.

#### **a) Potencial de recuperación y reaprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios reciclables compostables**

Para evaluar y estimar el potencial de RSD urbanos reciclables compostables se realizó siguiendo las etapas y procedimientos para el diseño del programa de segregación de la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015). Esta guía no considera el reaprovechamiento de residuos sólidos orgánicos putrescibles, sin embargo se adoptó las etapas y procedimientos para su cuantificación, proyección y valorización, los mismos que consisten en:

##### *(1) Composición y cuantificación de residuos sólidos domiciliarios compostables*

Que consistió en conocer previamente la composición y cuantificación de residuos reaprovechables. Para lo cual, en base a la generación total de RSD urbanos del distrito de Antauta y el porcentaje de RSD reciclables compostables, se estimó la generación diaria, semanal, mensual y anual de RSD reciclables con potencial para el compostaje (tabla C.1 del Anexo C).

##### *(2) Producción y estimación de ingresos económicos por la posible venta de compost*

Consiste en realizar una proyección de la generación de residuos sólidos y valorización económica de residuos reaprovechables identificados y con potencial de comercialización. Para lo cual, la estimación de la producción de compost se realizó tomando en cuenta de que de 1000 kg (1 tonelada) de residuos orgánicos putrescibles se obtiene 350 kg (0.35 toneladas) de compost, de acuerdo a la guía técnica para la formulación e implementación de planes de minimización y aprovechamiento de residuos sólidos en el nivel municipal (CONAM, 2006). Además, se consideró que del total de residuos orgánicos putrescibles, es factible aprovechar un 75%, ya que para aprovechar

el 100%, el proceso podría ser más oneroso, debido a que podría contener troncos, huesos, entre otros (MINAM, 2008).

La estimación de ingresos económicos por la posible venta de compost se estimó en base al promedio de precios existentes en el mercado local, regional y nacional y de acuerdo a la metodología de valorización (tabla C.2 del Anexo C) para el diseño del programa de segregación de la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015).

#### **b) Potencial de recuperación y reaprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios reciclables comerciables**

Para evaluar y estimar el potencial de RSD urbanos reciclables comerciables se realizó siguiendo las etapas y procedimientos para el diseño del programa de segregación de la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015). Dentro de las etapas y procedimientos que se consideraron para estimar el potencial de recuperación y aprovechamiento de RSD reciclables comerciables fueron:

##### *(1) Composición y cuantificación de residuos sólidos domiciliarios comerciables*

Que consistió en conocer previamente la composición y cuantificación de residuos reaprovechables. Para lo cual, en base a la generación total de RSD urbanos del distrito de Antauta y el porcentaje de RSD reciclables comerciables, se estimó la generación diaria, semanal, mensual y anual de RSD reciclables con potencial para la comercialización (tabla C.1 del Anexo C).

##### *(2) Estimación de ingresos económicos por la posible venta de residuos sólidos domiciliarios reciclables comerciables*

Consiste en realizar una proyección de la generación de residuos sólidos y valorización económica de residuos reaprovechables identificados y con potencial de comercialización. Para lo cual, la estimación de ingresos económicos por la posible venta de RSD reciclables comerciables se realizó en base al promedio de precios existentes en el mercado de las localidades cercanas al distrito de Antauta, ya que en el distrito de no se han identificado ningún reciclador, acopiador o empresa recicladora que compre residuos reaprovechables. La guía metodológica para elaborar e implementar un

programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015), recomienda promediar el valor máximo y mínimo de los precios.

Para estimar de ingresos económicos se realizó en base al diseño recomendado (tabla C.2 del Anexo C) por la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015).

**c) Estimación de la prolongación de vida útil del relleno sanitario manual como consecuencia de la recuperación y reaprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios del distrito de Antauta**

Teniendo presente que el distrito de Antauta no cuenta con relleno sanitario, por lo que disponen sus residuos en el botadero. Sin embargo, en Perú la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos y su modificatoria prohíbe la disposición final en botaderos. Por esta razón, para calcular la prolongación de vida útil del relleno sanitario manual, se estimó el área requerida para la disposición en relleno sanitario en el distrito de Antauta, para ello, primero se estimó la generación total de RSM, considerando que en la generación de RSM, el 70% representa a los RSD y el 30% representa a otros de tipo municipal (OPS, 1998), este último se calculó multiplicando la generación de RSD por 30 y dividiendo entre 70 (MEF y MINAM, 2008).

Luego de obtener la generación total de RSM del distrito de Antauta, se estimó el área requerida para el relleno sanitario manual de 10 años de vida útil de acuerdo a la metodología (tabla D.1 del Anexo D) de la guía de identificación, formulación y evaluación social de proyectos de residuos sólidos municipales a nivel de perfil del MEF y MINAM (2008), en los que se dispondría la totalidad de los RSM sin recuperación y reaprovechamiento. Asimismo, se estimó el área requerida para el relleno sanitario de 10 años de vida útil, en el que sólo se dispondría los residuos no recuperables (no reciclables). Posteriormente se hizo una diferencia de ambas áreas, para estimar la prolongación de vida útil del relleno sanitario en el caso de que se implementara la recuperación y aprovechamiento de RSD urbanos del distrito de Antauta.

Para la estimación del área del relleno sanitario manual, se consideró los aspectos técnicos de un relleno sanitario manual, entre ellos una densidad de residuos recién compactado de  $0.4 \text{ t/m}^3$  (Jaramillo, 2002).

**Tabla 6.** Densidades para estimar el área de un relleno sanitario manual

Diseño	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (t/m <sup>3</sup> )
Celda diaria (basura recién compactada manualmente)	400 - 500	0.4 – 0.5
Volumen del relleno (basura estabilizada en el relleno manual)	500 - 600	0.5 – 0.6

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. CEPIS/OPS. Jaramillo, 2002.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Generación y composición de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta

Para el desarrollo de este objetivo se consideró la estimación de (1) la generación per cápita, la generación total y su proyección y (2) la composición de RSD generados por la población urbana del distrito de Antauta.

#### 4.1.1. Generación de RSD urbanos del distrito de Antauta

La generación per cápita de RSD urbanos estimada en el distrito de Antauta fue de 0.42 kg/hab./día (tabla E.1 del Anexo E), el mismo que se estimó promediando la GPC de las viviendas participantes, y para su análisis estadístico, se utilizó estadística descriptiva que se muestra (Tabla 7).

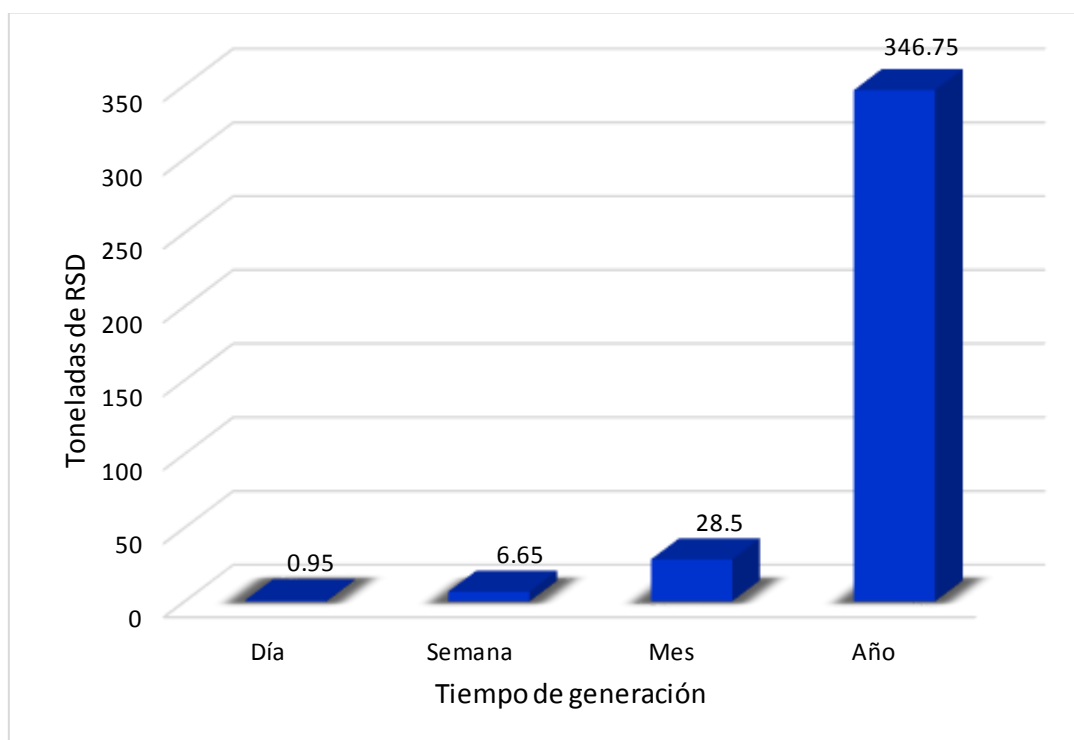
**Tabla 7.** Análisis estadístico de la GPC de las viviendas

Variable	n	Media	D. E.	E. E.	Mín	Máx
GPC de viviendas	67	0.42	0.11	0.01	0.26	1.02

En la ciudad de Ayaviri la GPC de RSD fue 0.38 kg/hab./día (Cari, 2011) y en relación a la GPC obtenida en el presente estudio (0.42 kg/hab./día) es ligeramente superior en 0.04 kg. La GPC de RSD del distrito de Antauta es similar al obtenido en la ciudad de Ayaviri, lo que indica que los factores y características socioeconómicas de ambas localidades son similares.

Se concluye que la GPC de RSD urbanos del distrito de Antauta está dentro de los valores aceptables, ya que es un valor cercano a la GPC nacional (0.56 kg/hab./día) y al valor representativo para la sierra (0.513 kg/hab./día) según el sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013 del MINAM (2014).

Teniendo en cuenta que la población urbana estimada del distrito de Antauta al año 2016 es 2,266 habitantes, la generación total de RSD asciende a 951.72 kg/día, 0.95 t/día, 6.65 t/semana, 28.5 t/mes y 346.75 t/año (Figura 4).



**Figura 4.** Generación total de RSD urbanos del distrito de Antauta.

En la ciudad de Ayaviri, la generación total de RSD es 11.64 t/día (Cari, 2011), mientras el valor obtenido en el presente estudio fue 0.95 t/día. Se evidencia que la generación total de RSD de Ayaviri es superior en 10.69 toneladas en relación a la generación total de la ciudad de Antauta. Es importante destacar que la GPC de RSD de la localidad de Antauta (0.42 kg/hab./día) y Ayaviri (0.38 kg/hab./día) son similares, sin embargo la generación total de RSD son diferentes, esta diferencia en cuanto a la generación total de RSD, se debe a las diferencias en el tamaño de la población de la ciudad de Ayaviri (22,667 habitantes) según Cari (2011) y de la localidad de Antauta (2,266 habitantes), es decir, la generación total de RSD depende directamente de la GPC y el tamaño de la población.

Se concluye que la generación total GPC de RSD urbanos del distrito de Antauta es relativamente pequeña, debido al tamaño de su población (2,266 habitantes), ya que la generación total es el producto de la GPC y el tamaño de la población, es decir depende básicamente del tamaño de la población urbana del distrito en estudio. Sin embargo, un aspecto importante a destacar es la generación de importantes cantidades de residuos sólidos de la población flotante (personal de la Unidad Minera San Rafael) y restaurantes que brindan servicios a la Unidad Minera San Rafael de MINSUR S. A. dedicada a extracción de estaño.

Asimismo, que dentro de 5 años la GPC de RSD se incrementará a 0.44 kg/hab./día, la generación total de RSD será 1.01 t/día, 7.07 t/semana, 30.30 t/mes y 368.65 t/año. Es decir, dentro de 5 años mensualmente se generará 1.8 toneladas adicionales en la relación a la generación actual (28.5 ton/mes), y la generación anual se incrementará en 21.9 toneladas en relación a la generación actual (Tabla 8).

**Tabla 8.** Proyección de la generación total de RSD urbanos del distrito de Antauta

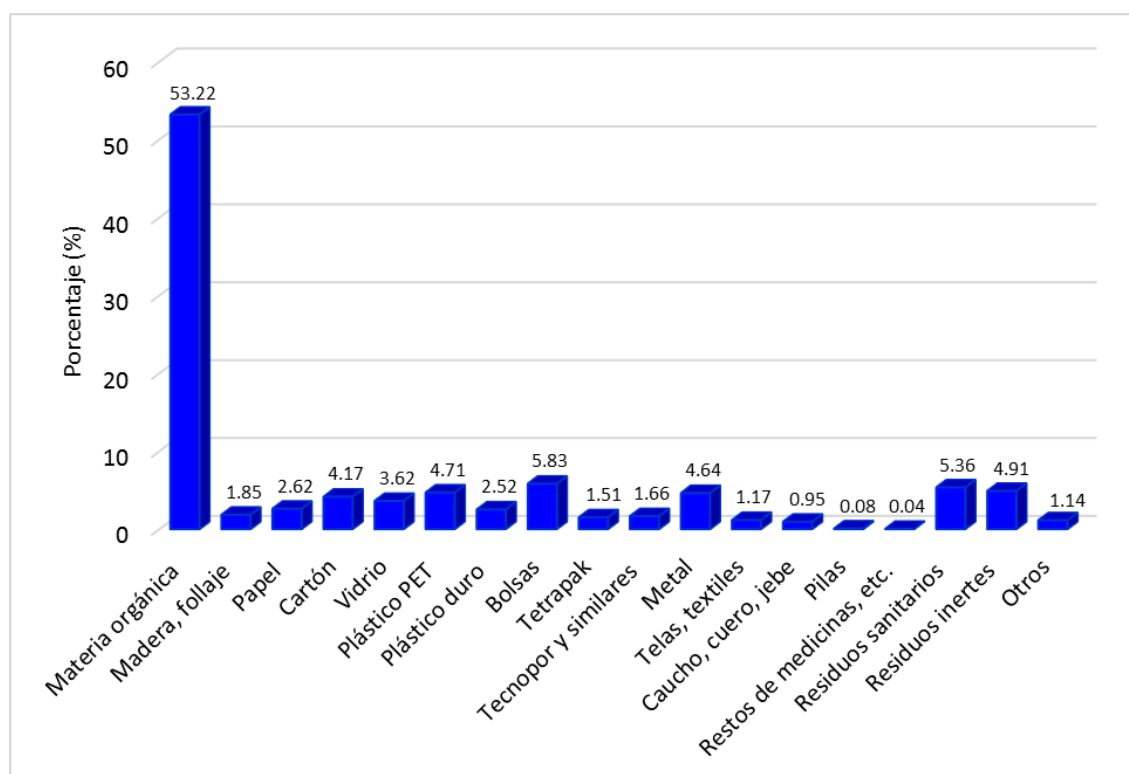
N°	Año	Población	GPC (kg/hab./día)	Generación total			
				t/día	t/semana	t/mes	t/año
0	2016	2 266	0.420	0.95	6.65	28.50	346.75
1	2017	2 272	0.424	0.96	6.72	28.80	350.40
2	2018	2 279	0.428	0.98	6.86	29.40	357.70
3	2019	2 285	0.432	0.99	6.93	29.70	361.35
4	2020	2 291	0.436	1.00	7.00	30.00	365.00
5	2021	2 297	0.440	1.01	7.07	30.30	368.65
6	2022	2 303	0.444	1.02	7.14	30.60	372.30
7	2023	2 310	0.448	1.03	7.21	30.90	375.95
8	2024	2 316	0.452	1.05	7.35	31.50	383.25
9	2025	2 322	0.457	1.06	7.42	31.80	386.90
10	2026	2 328	0.462	1.08	7.56	32.40	394.20

En cuanto al crecimiento de la GPC en los próximos años, en Perú la GPC de RSD crece 1% anual según la guía metodológica para la elaboración del estudio de caracterización para residuos sólidos municipales del MINAM (2012). Asimismo, Jaramillo (2002), recomienda calcular la proyección de la GPC con un incremento de entre 0.5 y 1% anual, sabiendo con el desarrollo y crecimiento urbano, y comercial de la población los índices de producción aumentan. En la presente investigación se ha considerado un crecimiento de 1% anual, según lo recomendado por MINAM (2012).

#### 4.1.2. Composición de RSD urbanos del distrito de Antauta

De manera general que los RSD urbanos del distrito de Antauta, están compuestos principalmente 53.22% de materia orgánica, seguidos de 5.83% de bolsas plásticas, 5.36% de residuos sanitarios, 4.91% de residuos inertes, 4.71% de plástico PET, 4.64% de metales, 4.17% de cartón, 3.62% de vidrio, 2.62% de papel, 2.52% de plástico duro, 1.85% de madera y follaje, 1.71% de tetrapack, 1.66% de tecnopor y similares, 1.51% de tetrapack, 1.17% de telas y textiles, otros con 1.14% y los demás están por debajo del 1% (Figura 5).





**Figura 5.** Composición de RSD urbanos del distrito de Antauta.

La población urbana del distrito de Antauta genera un alto porcentaje de materia orgánica (53.22%) y supera en 17.74% al estimado (42%) en Ayaviri (Cari, 2011), lo que significa que la población de Antauta lo que más generan son restos de alimentos, cáscaras de frutas y vegetales y similares; además, el alto porcentaje de la materia orgánica se debe a que los demás componentes están por debajo del 6%, lo que hace que se eleve el porcentaje de materia orgánica. En la localidad de Antauta, después de la materia orgánica lo que más se generan en orden descendente son bolsas plásticas, residuos sanitarios, residuos inertes, plástico PET, metales ferrosos, cartón, entre otros. Pero en la ciudad de Ayaviri se generan plásticos, residuos tóxicos y papeles (Cari, 2011) y en algunos municipios de México, son plásticos, papel y cartón (Taboada *et al.*, 2013 y Aguilar *et al.*, 2010). Pero en términos generales, los estudios en países de América Latina y el Caribe, después de la materia orgánica, coinciden en destacar contenidos moderados de papel y cartón entre 8 y 18%, plástico y caucho entre 3 y 14%, y vidrio y cerámica entre 3 y 8% (Jaramillo, 2002).

En la tabla 9 se observa que dentro de la fracción de los RSD con potencial de recuperación, los residuos reciclables compostables se constituyen de materia orgánica y, madera, follaje, ya que son residuos orgánicos putrescibles. Los residuos reciclables comerciables en orden descendente están constituidos por plástico PET, metales ferrosos,

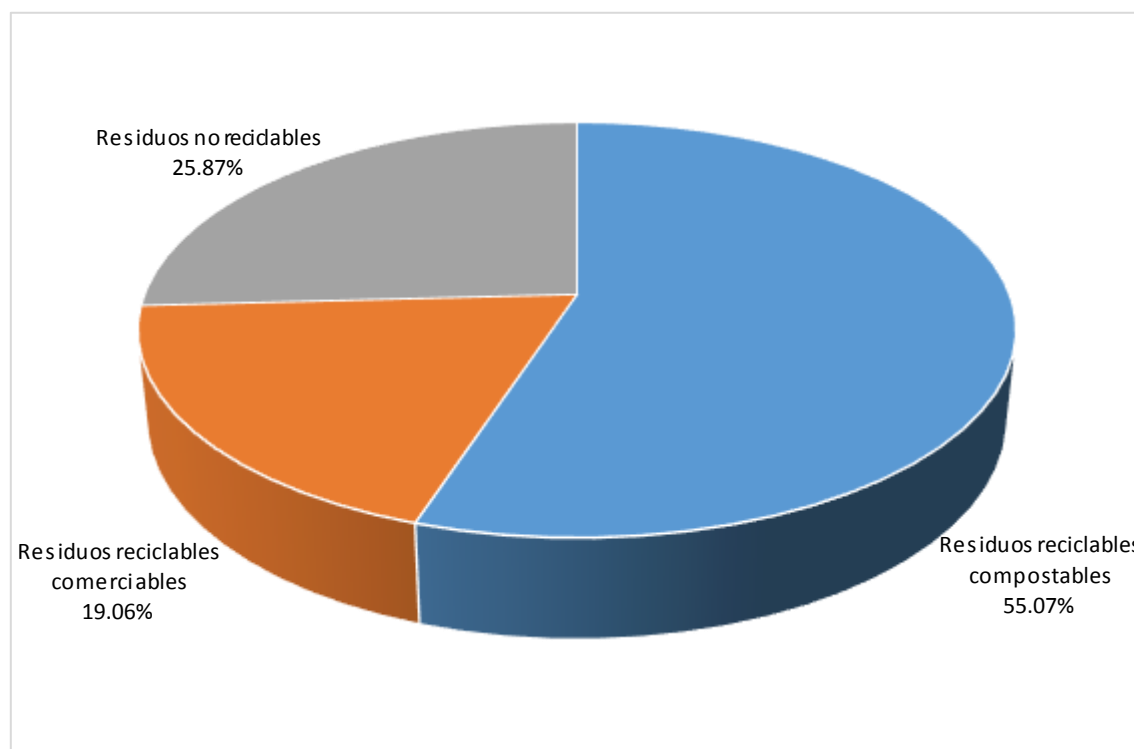
vidrio, papel, plástico duro (PEAD) y caucho. La fracción de residuos no recuperables (no reciclables) está conformado principalmente por bolsas plásticas, residuos sanitarios, residuos inertes, tecnopor y similares, tetra pack, entre otros.

Asimismo, que dentro de los residuos reciclables compostables, el porcentaje más alto corresponde a la materia orgánica con 53.22% y el más bajo corresponde a madera, follaje con 1.85%. Dentro de los residuos reciclables comerciables los de mayor proporción corresponden al plástico PET con 4.71%, metales ferrosos con 4.64%, vidrio con 3.62%; y en menor proporción se encuentran el papel, plástico duro (PEAD) y caucho con 2.62%, 2.52% y 0.95% respectivamente. En el caso de los residuos no reciclables, los porcentajes más altos corresponden a las bolsas, residuos sanitarios e inertes, con un 5.83%, 5.36% y 4.92% respectivamente; y el porcentaje más bajo corresponde a pilas y restos de medicina, focos, etc. con 0.08% y 0.04% respectivamente (Tabla 9).

**Tabla 9.** Distribución porcentual de RSD recuperables y no recuperables

<b>Tipo de residuos sólidos</b>		<b>Porcentaje (%)</b>
Reciclables compostables	Materia orgánica	53.22
	Madera, follaje	1.85
<b>Sub total compostables</b>		<b>55.07</b>
Reciclables comerciables	Papel	2.62
	Vidrio	3.62
	Plástico PET	4.71
	Plástico duro (PEAD)	2.52
	Metales ferrosos	4.64
	Caucho, cuero, jebe	0.95
<b>Sub total comerciables</b>		<b>19.06</b>
<b>Sub total fracción recuperable</b>		<b>74.13</b>
No reciclables	Cartón	4.17
	Bolsas	5.83
	Tetrapack	1.51
	Tecnopor y similares	1.66
	Telas, textiles	1.17
	Pilas	0.08
	Restos de medicina, focos, etc.	0.04
	Residuos sanitarios	5.36
	Residuos inertes	4.91
Otros	1.14	
<b>Sub Total fracción no recuperable</b>		<b>25.87</b>
<b>Total</b>		<b>100</b>

Del total de RSD urbanos generados en el distrito de Antauta, el 74.13% (tabla 10) son residuos con potencial de recuperación y reaprovechamiento, de las cuales el 55.07% son residuos reciclables que se pueden utilizar para el compostaje, el 19.06% son residuos reciclables que se puede comercializar. Los RSD que no son factibles de recuperar (no reciclables) constituyen el 25.87%, por lo que su destino sería la disposición final (Figura 6).



**Figura 6.** Distribución porcentual de RSD reciclables y no reciclables.

Por otro lado, en el ámbito urbano del distrito de Antauta el 74.13% son residuos con potencial de ser recuperados y aprovechados, pero es superado en 7.87% en relación al estudio realizado en Ayaviri, donde el 82% de los residuos tienen potencial de recuperación y aprovechamiento; es decir, 42% de residuos orgánicos y el 40% de residuos reciclables; y sólo 18% son residuos no reciclables (Cari, 2011). Sin embargo, en la localidad de Antauta la fracción de residuos orgánicos compostables (55.07%) es 13.07% más alto que en Ayaviri (42%). Ocurre lo contrario en cuanto a los residuos reciclables comerciables, porque en la ciudad de Ayaviri se puede reciclar (40%) y comercializar 20.94% más en relación a los resultados localidad de Antauta (19.06%). En cuanto a la fracción de residuos no recuperables (no reciclables), en Antauta es posible destinar al sitio de disposición final 7.87% más que en Ayaviri.

Asimismo, estudios en municipios de México, indican que es posible recuperar y aprovechar hasta un 68.37% (37.56% de materia orgánica y 30,81% de materiales reciclables) y los no recuperables representan el 31.63% (Saldaña *et al.*, 2013); además, Aguilar *et al.* (2010) reporta que el 90.79% de los residuos se pueden reaprovechar (68.56% de residuos orgánicos y 22.23% de residuos inorgánicos reciclables) y los no reciclables constituyen el 9.21%. También, Valdivia *et al.* (2012) encontró que el 63% de residuos es aprovechable (29% inorgánicos que pueden ser reciclados y 34% corresponde a la materia orgánica) y 37% son materiales no reciclables. En el municipio de Chacao (Venezuela) el 82% se pueden aprovechar, es decir, 65% son residuos orgánicos putrescibles y 17% son materiales con amplias posibilidades para su revaloración y 18% son no reciclables (Sánchez *et al.*, 2014).

Analizando los resultados, se evidencia que los RSD urbanos del distrito de Antauta tienen alto potencial para el compostaje (55.07%), superando a los resultados de Cari (2011), Valdivia *et al.* (2012) y Saldaña *et al.* (2013), pero es menor a los reportado por Aguilar *et al.* (2010) y Sánchez *et al.* (2014). En cuanto a los residuos reciclables comerciables, los resultados de Antauta (19.06%) se parecen a los de Aguilar *et al.* (2010) y Sánchez *et al.* (2014), en los demás casos citados los residuos reciclables son de mayor proporción a los resultados de Antauta. En total (compostables y reciclables) en la ciudad de Antauta el 74.13% de los RSD tienen potencial de recuperación y aprovechamiento, de los que se podrían obtener beneficios económicos y ambientales (Aguilar *et al.*, 2010). Asimismo, sólo el 25.87% serían sepultados en el sitio de disposición final del distrito de Antauta. Las proporciones similares o diferentes de residuos compostables, reciclables y no reciclables, revelan que los patrones de consumo y las características socioeconómicas de cada localidad o ciudad son diferentes, ya que cada municipalidad es diferente en términos de hábitos domésticos y tipos de entidades comerciales e industriales (Brown, *et al.*, 2003). La población urbana del distrito de Antauta cuenta con 2 266 habitantes, por lo tanto es una ciudad pequeña, donde la mayoría es de bajos niveles socioeconómicos.

Se concluye que los RSD urbanos del Antauta tienen un alto contenido de materia orgánica (53.22%), lo que es aceptable, porque en términos generales, los estudios en países de América Latina y el Caribe, coinciden en destacar un alto porcentaje de materia orgánica putrescible esta entre 50 y 80% (Jaramillo, 2002), especialmente en pequeñas ciudades. Los residuos que más se generan después de la materia orgánica son bolsas, especialmente bolsas de despacho y envolturas, esto porque, la población de Antauta se

abastece de producto de primera necesidad y otros productos de localidades cercanas como Juliaca, además, explica el consumo de productos con empaques y envolturas, principalmente por la población flotante de la Unidad Minera San Rafael de MINSUR S.A. Después de las bolsas, se generan residuos sanitarios, inertes, plástico PET, metales ferrosos, cartón entre otros. Sin embargo, este resultado es diferente a los resultados de Aguilar *et al.* (2010), Cari, (2011) y Taboada *et al.* (2013); estas diferencias reflejan que cada localidad o ciudad tiene patrones de consumo y características socioeconómicas diferentes, por lo tanto, varía la composición de RSD que generan; ya que cada municipalidad es diferente en términos de hábitos domésticos y tipos de entidades comerciales e industriales (Brown, *et al.*, 2003).

#### **4.2. Potencial de recuperación de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta**

Para el desarrollo de este objetivo se estimó los siguientes parámetros (1) generación de RSD compostables, producción y valorización económica del compost, (2) generación y valorización económica de RSD reciclables comerciables y (3) prolongación de la vida útil del relleno sanitario manual como consecuencia de la recuperación y reaprovechamiento de RSD del distrito de Antauta.

El propósito de este objetivo es brindar información, que coadyuve a la toma de decisiones para implementar programas de recuperación y reaprovechamiento de RSD, que reduzca las cantidades de residuos que se destinan para la disposición final, con la consecuente prolongación de la vida útil del sitio de disposición final y obtener beneficios económicos y ambientales.

##### **4.2.1. Generación de residuos sólidos domiciliarios compostables, producción y valorización económica del compost**

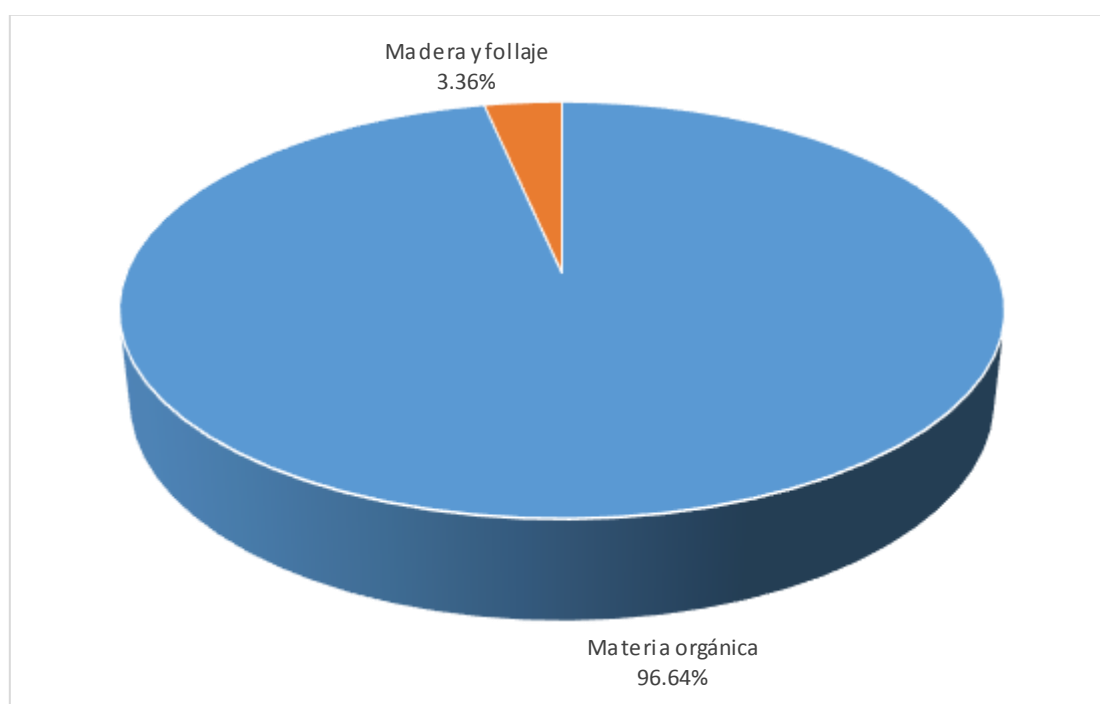
###### ***a) Generación de residuos sólidos domiciliarios compostables***

Considerando que los RSD compostables representan el 55.07% de la producción total (0.95 t/día), la generación de RSD compostables es de 0.52 t/día, 3.66 t/semana, 15.70 t/mes y 190.97 t/año (Tabla 10).

**Tabla 10.** Generación de RSD compostables

Tipo de residuos sólidos		Porcentaje (%)	Generación total			
			t/día	t/semana	t/mes	t/año
Reciclables compostables	Materia orgánica	53.22	0.5056	3.539	15.168	184.54
	Madera, follaje	1.85	0.0176	0.123	0.528	6.42
<b>Total</b>		<b>55.07</b>	<b>0.52</b>	<b>3.66</b>	<b>15.70</b>	<b>190.97</b>

Dentro de los RSD compostables el 96.64% corresponde a la materia orgánica y el 3.36% corresponde a madera, follaje. Esto significa que casi la totalidad de RSD compostables está constituido el componente materia orgánica, es decir, de restos de alimentos, cáscaras de frutas y vegetales, y similares (Figura 7).

**Figura 7.** Distribución porcentual de RSD compostables.

#### a) Producción y valorización económica de compost

Considerando que de una tonelada de residuos orgánicos se obtiene 0.35 toneladas de compost (CONAM, 2006) y el precio promedio de una tonelada de compost es de S/ 200, según las cotizaciones realizadas del mercado local, regional y nacional. Además, si consideramos que es factible recuperar sólo el 75% (MINAM, 2008) del total de residuos orgánicos putrescibles generados (3.66 t/semana), es decir, 2.75 t/semana, se puede producir 0.96 toneladas de compost a partir del tercer mes (Brown, *et al.*, 2003 y Sandoval, 2006) y por su comercialización se obtendría S/ 192.15 soles/semana, S/ 768.60 soles/mes y S/ 9223.20 soles/año (Tabla 11).

**Tabla 11.** Valorización económica de la posible venta de compost

Descripción	Generación total de RSD compostables (t/semana)	75% factibles de recuperar (t/semana)	Precio promedio (soles/t)	Ingreso económico del 75% (soles/sem)
	A	$B = A \times 0.75$	C	$D = B \times C$
Residuos orgánicos	3.66	2.75		
Compost	1.28	0.96	200	192.15
<b>Total</b>	<b>1.28</b>	<b>0.96</b>	<b>-</b>	<b>192.15</b>

Las alternativas para el reciclaje de residuos orgánicos, son el compostaje para la obtención de compost, y lombricultura para la obtención de humus de lombriz (CONAM, 2006 y MINAM, 2008), otra opción de aprovechar es la obtención de fertilizantes orgánicos y generación de biogás, mediante el uso de sistemas llamadas biodigestores (Taboada *et al.*, 2013 y Sandoval, 2006). Evaluando las opciones para reaprovechar los residuos orgánicos, lo más conveniente y factible para el distrito de Antauta es el compostaje, ya que su implementación y tecnología es asequible.

Además, los residuos orgánicos pueden convertirse, por su transformación biológica, en compost para ser utilizado como un mejorador de suelos (Brown *et al.*, 2003), ya que el manejo adecuado de residuos orgánicos mediante el compostaje, con tecnología e infraestructura apropiada, en pequeña y mediana escala y con participación de la gente, se obtiene abono de calidad, el cual aplicados a los cultivos, se logran buenas cosechas (Quispe, 2015). Además, de los beneficios económicos, se puede obtener beneficios ambientales (Aguilar *et al.*, 2010), ya que si no se aprovechara, la descomposición orgánica produciría malos olores, lixiviados, proliferación de insectos y roedores que son vectores de microorganismos patógenos de humanos y animales (Sandoval, 2006).

Asimismo, nuestra sociedad tiene una magnífica oportunidad para disponer de abono de calidad de las inmensas cantidades de residuos orgánicos que diariamente se genera, para una agricultura que exige sea orgánica y sostenible (Quispe, 2015). Esta acción coadyuvaría a la solución de problemas de empobrecimiento de suelos destinados a la agricultura. Por otro lado, la finalidad de la municipalidad es brindar bienestar a su comunidad, por consiguiente en el caso que produzca compost, este producto debe ser utilizado en primera instancia para satisfacer sus propias necesidades y sólo el excedente debe ser comercializado; debiendo usarse el ingreso obtenido exclusivamente para el mantenimiento del servicio de residuos sólidos (MINAM, 2008). Es importante resaltar la paradoja de que nos encontramos con el enorme déficit de materia orgánica de nuestros suelos, por otro lado, el incorrecto tratamiento o simple abandono de estos residuos que



ocasiona gravísimos daños al ambiente e incrementa los costos de tratamiento en vertederos y el rechazo social de la gestión de los residuos sólidos (Del Val, 2005). Otro aspecto muy importante es el uso del compost después de su producción, no tendría sentido producirlo si después no se sabe qué hacer con él, entonces es necesario definir si se va a comercializar a los agricultores, para implementar huertos, para jardines, entre otros.

Se concluye que en el distrito de Antauta, más de la mitad (55.07%) de los RSD urbanos son residuos orgánicos compostables. Semanalmente se genera un total de 3.66 toneladas de RSD compostables, de la cual, es factible recuperar y reaprovechar el 75% (MINAM, 2008), es decir, 2.75 t/semana, y a partir del tercer mes (Brown, *et al.*, 2003 y Sandoval, 2006) se produciría semanalmente 0.96 toneladas de compost, que estaría valorizado en 192.15 soles/semana, 768.60 soles/mes y 9223.20 soles/año. Pero la recuperación y reaprovechamiento del 75% del total de RSD compostables depende de la segregación en la fuente, por lo menos en orgánicos e inorgánicos (MINAM, 2008) u otra formas de recuperación que resulten efectivas.

#### 4.2.2. Generación y valorización económica de RSD reciclables comerciables

##### a) Generación de RSD reciclables comerciables

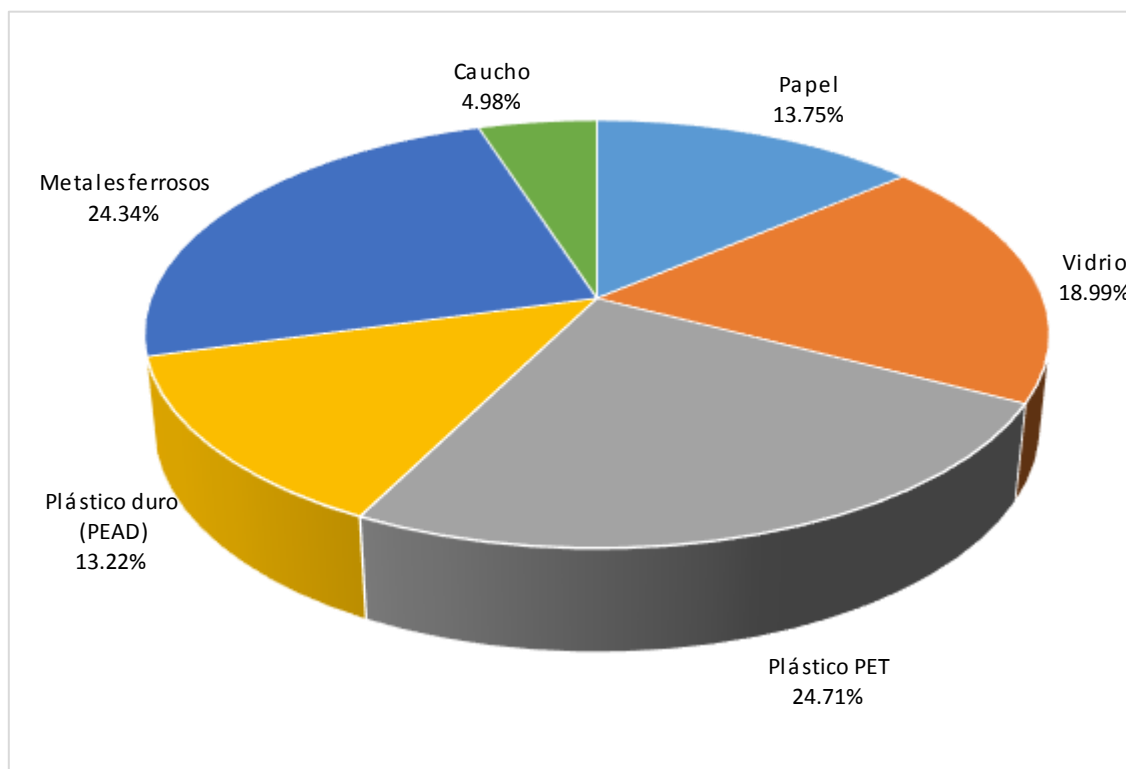
Considerando que los RSD reciclables comerciables (papel, vidrio, plástico PET, plástico duro, metales ferrosos y caucho) constituyen el 19.06% de la generación total de RSD del distrito de Antauta. La generación de RSD reciclables comerciables es de 0.18 t/día, 1.27 t/semana, 5.43 t/mes y 66.07 t/año (Tabla 12).

**Tabla 12.** Generación de RSD reciclables comerciables del distrito de Antauta

Tipo de residuos sólidos	Porcentaje (%)	Generación total				
		t/día	t/semana	t/mes	t/año	
Papel	2.62	0.0249	0.174	0.747	9.09	
Vidrio	3.62	0.0344	0.241	1.032	12.56	
Reciclables comerciables	4.71	0.0447	0.313	1.341	16.32	
Plástico PET	2.52	0.0239	0.167	0.717	8.72	
Plástico duro (PEAD)	4.64	0.0441	0.309	1.323	16.10	
Metales ferrosos	0.95	0.0090	0.063	0.27	3.29	
Caucho	<b>Total</b>	<b>19.06</b>	<b>0.18</b>	<b>1.27</b>	<b>5.43</b>	<b>66.07</b>



Los RSD reciclables comerciables, en orden descendente están constituidos por 24.71% de plástico PET, 24.34% de metales ferrosos, 18.99% de vidrio, 13.75% de papel, 13.22% de plástico duro (PEAD) y 4.98% de caucho (Figura 8).



**Figura 8.** Distribución porcentual de RSD reciclables comerciables.

**a) Valorización económico de RSD reciclables comerciables**

El precio promedio del papel blanco es 0.50 soles/kg, de botellas de vidrio es 0.35 soles/unidad, del plástico PET 0.55 soles/kg, del plástico duro (PEAD) 0.55 soles/kg, del metal ferroso 0.25 soles/kg y del caucho 0.50 soles/kg. Además, el precio de una tonelada de papel blanco, plástico PET, plástico duro, metal ferroso y caucho es 500, 550, 550, 250 y 500 soles respectivamente. Mientras que 1000 unidades de botellas de vidrio esta valorizado en 350 soles (Tabla 13).

**Tabla 13.** Precio promedio de RSD reciclables comerciables

N°	Material	Unidad	Costo unitario (S/)		Promedio de precios	
			mínimo	máximo	(soles/kg)	(soles/t)
1	Papel blanco	kg	0.40	0.60	0.50	500
2	Botellas de vidrio	Unidad	0.20	0.50	0.35	350
3	Plástico PET	kg	0.50	0.60	0.55	550
4	Plástico duro (PEAD)	kg	0.50	0.60	0.55	550
5	Metales ferrosos	kg	0.20	0.30	0.25	250
6	Caucho	kg	0.40	0.60	0.50	500

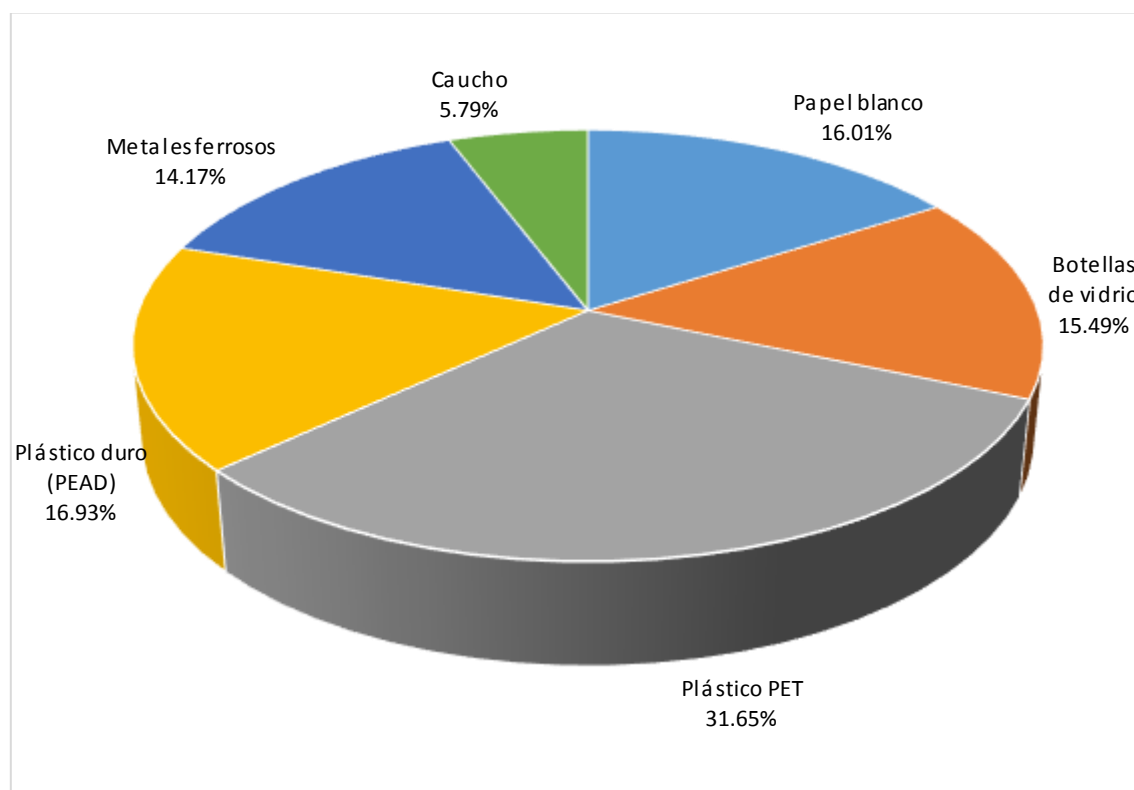
Mensualmente se genera un total de 5.43 toneladas de RSD reciclables comerciables, donde se puede recuperar y reaprovechar 3.87 toneladas, es decir el 75% (MINAM, 2008), y por su comercialización se podría obtener un total de S/ 1749.90 soles/mes, distribuidas en S/ 280.13, 270.90, 553.58, 296.18, 247.88 y 101.25 soles/mes por la venta de papel blanco, botellas de vidrio, plástico PET, plástico duro (PEAD), metales ferrosos y caucho respectivamente (Tabla 14).

**Tabla 14.** Ingresos económicos por la venta de RSD reciclables comerciables

N°	Tipo de residuo sólido	Generación total	75% factibles de recuperar	Promedio de precios	Ingresos económicos
		(t/mes)	(t/mes)	(soles/t)	(soles/mes)
		A	$B = A \times 0.75$	C	$D = B \times C$
1	Papel blanco	0.75	0.56	500	280.13
2	Botellas de vidrio	1.03	0.77	350	270.90
3	Plástico PET	1.34	1.01	550	553.58
4	Plástico duro (PEAD)	0.72	0.54	550	296.18
5	Metales ferrosos	1.32	0.99	250	247.88
6	Caucho	0.27	0.20	500	101.25
	<b>Total</b>	<b>5.43</b>	<b>3.87</b>	-	<b>1749.90</b>

El plástico PET es el que genera el 31.65% de los ingresos, seguidos de plástico duro (PEAD), papel blanco, botellas de vidrio, metales ferrosos y caucho con ingresos económicos de 16.93%, 16.01%, 15.49%, 14.17% y 5.79% de aportes del ingreso total (Figura 9).

Dentro de los RSD urbanos del distrito de Antauta, se puede recuperar y comercializar plástico PET, metales ferrosos, botellas de vidrio, papel, plástico duro (PEAD) y caucho. Sin embargo, el papel y cartón pueden emplearse como combustibles en un gasificado de flujo descendente para generar energía eléctrica (Taboada *et al.*, 2013). Esta opción no es compatible con las posibilidades del distrito de Antauta, ya que requeriría una gran inversión, además, la generación de residuos es minúsculo para este tipo de reaprovechamiento, por esta razón la comercialización es la mejor opción para el distrito de Antauta. Además, de los beneficios económicos que se obtendría por la comercialización, se puede obtener beneficios ambientales (Aguilar *et al.*, 2010), ya que un eficaz reciclado de los materiales secundarios incide positivamente sobre la calidad ambiental, debido a que favorece el uso sostenible de las materias primas (Sandoval, 2006).



**Figura 9.** Porcentaje de materiales según los aportes de ingreso económico.

Por otro lado, la factibilidad de reaprovechar un mayor o menor porcentaje de residuos inorgánicos depende de las prácticas de segregación en las viviendas o establecimientos orientados a separar los residuos por lo menos en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos (CONAM, 2006 y MINAM, 2008), específicamente podría ser en residuos orgánicos húmedos que se pudren (putrescibles) y residuos secos que no se pudren (no putrescibles). Una alternativa puede ser que el municipio adquiera y distribuya las bolsas o contenedores de diferente color para los residuos putrescibles y para los residuos no putrescibles (Brown, *et al.*, 2003), además, se podrían utilizar recipientes que diferencien sólo dos tipos de residuos, orgánicos e inorgánicos, asimismo solo se utilizarían dos colores, de preferencia marrón para el residuos orgánico y verde para el inorgánico (CONAM, 2006), de esta forma se podrá reaprovechar una mayor cantidad de residuos que si la segregación se efectuara en etapas posteriores (MINAM, 2008).

Por otro lado, la municipalidad podría tener toda la buena voluntad de implementar dicho programa y conseguir los recursos necesarios para el procesamiento de materiales, pero si la población no colabora en la separación de residuos en sus casas, el programa no tendrá el éxito esperado (Brown, *et al.*, 2003), por ello, es importante la educación ambiental efectiva. Además, un programa de separación en los hogares nunca es 100%

perfecto; es necesario tener un centro de separación y recuperación de materiales para complementar el trabajo realizado por los usuarios. Este centro servirá para verificar la clasificación hecha por los usuarios y también para sub-clasificar los materiales (Brown, *et al.*, 2003), por ejemplo, si se separa lo orgánico y lo inorgánico en los domicilios, separar lo inorgánico en papel, plástico PET, vidrio, etc.).

Por ello, la implementación de un programa de recuperación y reaprovechamiento de RSD urbanos en el municipio de Antauta debe desarrollarse en un escenario donde el municipio implemente un sistema de gestión de residuos sólidos con separación en el origen en dos fracciones: una orgánica destinada al compostaje y otra inorgánica destinada a la comercialización. Además, el reciclaje de residuos sólidos con segregación domiciliaria permitiría obtener un mejor material para los procesos de reciclaje, asimismo se eliminarían las condiciones informales e inhumanas en las cuales se desarrolla este proceso, además brindaría oportunidades de trabajo a las personas de escasos recursos, y permitiría gastar menos recursos en proceso de disposición final ya que se llevarían menores cantidades de residuos sólidos a los rellenos sanitarios (CONAM, 2006).

Otro aspecto muy importantes para implementar un programa de recuperación y reaprovechamiento de RSD es el mercado, se recomienda hacer un estudio de costos y beneficios del sistema y empezar en pequeña escala, con proyectos pilotos para comprobar el costo del sistema y el valor de los materiales recuperados; antes de adelantar campañas públicas de separación de RSD, hacer mayores inversiones o aprobar ordenanzas municipales sobre el reciclaje, es necesario tener un mercado e infraestructura, de lo contrario, se correría el riesgo de fracasar, y como consecuencia, la gente perdería confianza y entusiasmo si ven que el sistema no funciona (Brown, *et al.*, 2003).

Se concluye que en general las cantidades de RSD reciclables urbanos del distrito de Antauta no representan un valor económico significativo, porque la generación de RSD es pequeña, además no existe recicladores ni acopiadores de residuos reaprovechables. Sin embargo, si se decide apoyar un proyecto de reciclaje o compostaje en el municipio es preferible implementar la separación de los residuos sólidos en la fuente de generación (Brown, *et al.*, 2003), mediante un programa piloto de segregación en la fuente y recolección selectiva de RSD reaprovechables a pequeña escala, con el objetivo de sensibilizar, capacitar y educar a la población del distrito de Antauta sobre los beneficios económicos y ambientales (Aguilar *et al.*, 2010) que puede generar un manejo adecuado

de RSD, ya que, para que un programa de separación o compostaje tenga éxito es imprescindible incorporar la educación comunitaria (Brown, *et al.*, 2003).

#### 4.2.3. Prolongación de la vida útil del relleno sanitario manual como consecuencia de la recuperación y reaprovechamiento de RSD

El distrito de Antauta no tiene un relleno sanitario, por lo que los RSM se disponen en un botadero municipal. Sin embargo, en Perú, la Ley N° 27514, Ley General de Residuos Sólidos prohíbe el uso de botaderos y promueve su cierre o adecuación según corresponda. Por esta razón, para estimar el prolongamiento de vida del relleno sanitario, como consecuencia de la posible recuperación y aprovechamiento de una fracción de RSD, en este estudio se calculó el área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual con tiempo de vida útil de 10 años recomendado por el MINAM (2008). Además, el relleno sanitario manual es una alternativa técnica y económicamente factible, y es adecuado para poblaciones de menos de 30 000 habitantes que generan hasta 15 toneladas diarias, que no tienen la forma de adquirir equipo pesado para construir y operar un relleno sanitario convencional (Jaramillo, 2002).

El área requerida para el relleno sanitario manual con vida útil de 10 años, con una compactación manual de RSM hasta 400 kg/m<sup>3</sup> o 0.4 ton/m<sup>3</sup> (Jaramillo, 2002) y para la disposición final de la totalidad de RSM generados, es decir sin recuperación de RSD, es de 0.54 hectáreas, esta área incluye áreas administrativas, almacén y servicios del personal (Tabla 15).

**Tabla 15.** Área requerida para el relleno sanitario manual sin recuperación de RSD

N°	Año	Generación de RSD (t/día)	Generación total de RSM		Volumen anual (m3)		Volumen total acumulado (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Área total (Has.)
			t/día	t/año	Compactado	RS+MC				
A	B	C=B+(Bx30/70)	D=Cx365	E=D/0.12	F=Ex1.25	G	H=G/4	I=Hx1.3	J=I/10 000	
0	2016	0.95	1.35	492.75						
1	2017	0.96	1.37	500.05	1250	1562.50	1562.50	390.63	507.82	0.05
2	2018	0.98	1.40	511.00	1277	1596.25	3158.75	789.69	1026.60	0.10
3	2019	0.99	1.41	514.65	1286	1607.50	4766.25	1191.56	1549.03	0.15
4	2020	1.00	1.43	521.95	1304	1630.00	6396.25	1599.06	2078.78	0.21
5	2021	1.01	1.44	525.60	1314	1642.50	8038.75	2009.69	2612.60	0.26
6	2022	1.02	1.46	532.90	1332	1665.00	9703.75	2425.94	3153.72	0.32
7	2023	1.03	1.47	536.55	1341	1676.25	11380.00	2845.00	3698.50	0.37
8	2024	1.05	1.50	547.50	1368	1710.00	13090.00	3272.50	4254.25	0.43
9	2025	1.06	1.51	551.15	1377	1721.25	14811.25	3702.81	4813.65	0.48
10	2026	1.08	1.54	562.10	1405	1756.25	16567.50	4140.63	5382.82	0.54

El área requerida para un relleno sanitario manual con recuperación de 55.60% de RSD, que representa el 75% del total de RSD recuperables (74.13%); con vida útil de 10 años y con una compactación manual de RSM hasta 400 kg/m<sup>3</sup> (Jaramillo, 2002), es de 0.24 hectáreas. En esta área sólo se dispondría 44.40% del total de RSM (Tabla 16).

**Tabla 16.** Área requerida para el relleno sanitario manual con recuperación de 55.60% de RSD

N°	Año	Generación total de RSD (t/día)	Generación total de RSM (t/día)	44.40% de RSM que necesitaría disposición final		Volumen anual (m3)		Volumen total acumulado (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Área total (Has.)
				t/día	t/año	Compactado	RS+MC				
A	B	C=B+(Bx30/70)	D=C*0.5926	E=Dx365	F=E/0.4	F=Ex1.25	G	H=G/4	I=Hx1.3	J=I/10000	
0	2016	0.95	1.35	0.599	218.78						
1	2017	0.96	1.37	0.608	222.02	555.05	693.81	693.81	173.45	225.49	0.02
2	2018	0.98	1.40	0.622	226.88	567.20	709.00	1402.81	350.70	455.91	0.05
3	2019	0.99	1.41	0.626	228.50	571.25	714.06	2116.87	529.22	687.98	0.07
4	2020	1.00	1.43	0.635	231.75	579.38	724.22	2841.09	710.27	923.35	0.09
5	2021	1.01	1.44	0.639	233.37	583.43	729.28	3570.37	892.59	1160.37	0.12
6	2022	1.02	1.46	0.648	236.61	591.53	739.41	4309.78	1077.45	1400.68	0.14
7	2023	1.03	1.47	0.653	238.23	595.58	744.47	5054.25	1263.56	1642.63	0.16
8	2024	1.05	1.50	0.666	243.09	607.73	759.66	5813.90	1453.48	1889.52	0.19
9	2025	1.06	1.51	0.670	244.71	611.78	764.72	6578.62	1644.66	2138.05	0.21
10	2026	1.08	1.54	0.684	249.57	623.93	779.91	7358.53	1839.63	2391.52	0.24

Haciendo una diferencia entre el área necesaria para disponer la totalidad de RSM sin recuperación (Tabla 15) y el área necesaria para la disposición final con recuperación de 55.60% del total RSM (75% del total de RSD recuperables) (Tabla 16), se puede ahorrar hasta 0.3 ha y lograr prolongar hasta 5.56 años de vida útil del relleno sanitario manual. Este resultado evidencia que, con la práctica del reciclaje se disponen menos RSM y, en consecuencia, se aumenta su vida útil del relleno sanitario (Jaramillo, 2002 y CONAM, 2006), además permite proteger aún más el suelo, el aire y el agua. Asimismo, genera materia prima, ahorrando recursos naturales y energía; se promueve la segregación generando cultura ambiental y genera puestos de trabajo (CONAM, 2006).

Además, mediante un programa de recuperación y reaprovechamiento de RSD en el distrito de Antauta, se puede reducir los costos de operación y disposición final, ya que en Perú la contaminación y degradación ambiental no solo está ligada a la falta de lugares de disposición final de residuos sólidos a nivel nacional, si no también genera un costo económico (MINAM, 2016), es por ello que el MINAM ha centrado gran parte de sus esfuerzos en la segregación de residuos reciclables, siendo una de las acciones la generación de incentivos hacia gobiernos locales para la implementación de programas

de segregación en la fuente que incorporen recicladores en las rutas de recolección de recicladores.

Se concluye que en el distrito de Antauta, es posible reducir hasta 55.60% de RSM que se envían al sitio de disposición final, y con la disposición final en un relleno sanitario manual se puede alargar la vida útil del mismo hasta 5.56 años (55.60%), lo que generaría beneficios económicos y ambientales, principalmente la reducción del área requerida, de los costos de operación y disposición final, reducción de la contaminación del aire, agua y suelo, además, con la recuperación y reaprovechamiento se generaría conciencia y cultura ambiental en la población.

## V. CONCLUSIONES

- La generación per cápita de RSD urbanos del distrito de Antauta fue de 0.42 kg/hab./día y la generación total de RSD de la población urbana del distrito de Antauta (2,266 habitantes) asciende a 0.95 t/día; y los RSD están compuestos de 74.13% de RSD con potencial de recuperación y reaprovechamiento, de los cuales el 55.07% son residuos reciclables compostables, 19.06% son residuos reciclables que se puede comercializar y 25.87% no son factibles de recuperar (no reciclables) que requieren la disposición final.
- Es posible recuperar 2.75 t/semana de RSD compostables y producir 0.96 toneladas de compost a partir del tercer mes y por su comercialización se obtendría S/ 192.15 soles/semana, S/ 768.60 soles/mes y S/ 9,223.20 soles/año. Además, se puede recuperar y comercializar 3.87 t/mes de RSD reciclables comerciables (papel blanco, botellas de vidrio, plástico PET, plástico duro (PEAD), metales ferrosos y caucho) y por su comercialización se obtendría hasta S/ 1,749.90 soles/mes. Asimismo, es posible prolongar la vida útil de un relleno sanitario manual hasta 5.56 años (55.60%), lo que generaría beneficios económicos y ambientales.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la municipalidad distrital de Antauta:

- Realizar estudios de caracterización de residuos sólidos generados por los restaurantes y hoteles que brindan servicios a la población flotante (trabajadores) de la Unidad Minera San Rafael de MINSUR S.A., y evaluar su posible recuperación y reaprovechamiento, ya que durante el presente estudio se observó que estos establecimientos generan importantes cantidades de residuos sólidos.
- Realizar investigaciones sobre parámetros fisicoquímicos y biológicos del proceso de compostaje de la materia orgánica en el distrito de Antauta, con la finalidad de estimar el tiempo de producción y conocer el efecto de las condiciones ambientales que podrían afectar el proceso de compostaje.
- En base a los resultados del presente estudio, diseñar e implementar un programa piloto de recuperación y reaprovechamiento de RSD, considerando la inclusión y formalización de recicladores, el mercado, la capacitación y educación ambiental para garantizar la sostenibilidad y generación de beneficios económicos y ambientales.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio G., Rossin A., Teixeira P., Zepeda F. 1997. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos en América Latina y El Caribe. BID. OPS, Washington D. C. N°. ENV. 97-107.
- Aguilar V., Armijo de V., Taboada G. y Aguilar X. 2010. Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. Revista de Ingeniería. núm. 32, 16-27.
- Brown S., Umaña G., Gil L., Salazar O., Stanley C. y Bessalel M. 2003. Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales. Enfoque: Centroamérica. AIDIS.CARE El Salvador. PROARCA/SIGMA.
- Cantanhede A., Sandoval L., Monge G. y Caycho C. 2005. Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. HDT – N° 97. CEPIS - OPS/OMS, 8p.
- Cari M. 2011. Producción total y composición física de residuos sólidos para la formulación del PIGARS en la ciudad de Ayaviri – Puno, 2010. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). 2004. Guía técnica para la clausura o conversión de botaderos de residuos sólidos. Lima, Perú.
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). 2006. Guía técnica para la formulación e implementación de planes de minimización y aprovechamiento de residuos sólidos en el nivel municipal. Lima, Perú.
- Gobierno del Perú. 2000. Ley N° 72314. Ley General de Residuos Sólidos. Aprobada por el Congreso de la República y dado en la casa de Gobierno, el 20 de julio del 2000. Modificada mediante Decreto Legislativo N° 1065 del 28 de junio del 2008. Lima, Perú.
- Gobierno del Perú. 2004. Reglamento de la Ley N° 72314, Ley General de Residuos Sólidos. Aprobado mediante Decreto Supremo N° 057-2004 de la Presidencia del Consejo de ministros el 24 de julio del año 2004. Lima, Perú.

- Gusmán L., Salazar A. y Mesa F. 2006. Aprovechamiento de los residuos sólidos en el Municipio de Pereira. *Scientia Et Technics*. Vol. 12, núm. 30, 411-414.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 1993. Censo de Nacional de Población y Vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2007. Censo de Nacional de Población y Vivienda.
- Jaramillo J. 2002. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. CEPIS/OPS. Colombia.
- Limachi C. 2015. Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios reciclables y su valoración económica ambiental en la ciudad de Ayaviri, Melgar - Puno 2014. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Maldonado L. 2006. Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. *Revista Ingeniería*, vol. 10, núm. 1, pp. 59-68.
- Marmolejo L., Torres P., Oviedo E., Bedoya D., Amezquita C., Klinger R., Albán F. y Díaz L. 2009. Flujo de residuos: Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales. *Ingeniería y Competitividad*, vol. 11, núm. 2, pp. 79-93.
- Marmolejo L., Torres P., Oviedo R., García M. y Díaz L. 2011. Análisis del funcionamiento de plantas de manejo de residuos sólidos en el Norte del Valle del Cauca, Colombia. *Revista EIA*, núm. 16, diciembre, pp. 163-174.
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y Ministerio del Ambiente (MINAM). 2008. Guía de identificación, formulación y evaluación social de proyectos de residuos sólidos municipales a nivel de perfil. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2015. Guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales. Lima, Perú.

- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2015. Instructivo para implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios en viviendas urbanas del distrito, según el porcentaje establecido en el instructivo. Plan de incentivos a la mejora de la gestión y modernización municipal. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2015. Guía Metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2012. Guía Metodológica para la elaboración del estudio de caracterización para residuos sólidos municipales. Lima, Perú.
- Organización Panamericana de Salud (OPS). 1998. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Segunda Edición, OPS/OMS, Washington D. C.
- Organización Panamericana de Salud (OPS) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 1997. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. BID. Washington D. C.
- Quispe L. 2015. El valor potencial de los residuos orgánicos, rurales y urbanos para la sostenibilidad de la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 6, núm. 1, pp. 83-95.
- Saldaña D., Hernández R., Messina F. y Pérez 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. Rev. Int. Contam. Ambie. Vol. 29 (Sup. 3) 25-32.
- Sánchez R., Blanco S., Alberdi R., Najul, M. 2014. Potencial de aprovechamiento de los materiales presentes en los residuos sólidos de origen doméstico. Caso de estudio Municipio Chacao-Estado Miranda, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería U. C. V. Vol. 29, N° 1, pp. 27-36.
- Sandoval, A. 2006. Manual de tecnologías limpias en PyMEs del sector residuos sólidos. Programa horizontal de tecnologías limpias y energías renovables. Organización de Estados Americanos.

- Taboada G., Aguilar V., Cruz S. y Ramírez B. 2013. Manejo y potencial de recuperación de residuos sólidos en una comunidad rural de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* Vol. 29 (Sup. 3) 43-48.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil A. 1993. *Integrated solid waste management.* McGraw Hill.
- Valdivia A., Abelino T., López M. y Zavala P. 2012. Valoración económica del reciclaje de desechos urbanos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Ambiente.* Vol. 18, Núm. 3, pp. 435-447.
- Victoria C., Marmolejo R. y Torres L. 2012. Alternativas para fortalecer la valorización de materiales reciclables en plantas de manejo de residuos sólidos en pequeños municipios. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 22, núm. 1, pp. 59-73.

# ANEXOS

## Anexo A



**Figura A.1.** Plano de ubicación de las zonas y rutas de muestreo del ámbito urbano del distrito de Antauta.

Anexo B

**Tabla B.1.** Ficha para la composición de RSD urbanos del distrito de Antauta

N°	Tipo de residuos sólidos	Composición de residuos sólidos domiciliarios								Composición porcentual
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
1	Materia orgánica									
2	Madera y follaje									
3	Papel									
4	Cartón									
5	Vidrio									
6	Plástico PET									
7	Plástico duro									
8	Bolsas									
9	Tetrapack									
10	Tecnopor y similares									
11	Metales ferrosos									
12	Telas, textiles									
13	Caucho, cuero, jebe									
14	Pilas									
15	Restos de medicinas, etc.									
16	Residuos sanitarios									
17	Residuos inertes									
18	Otros									
		<b>Total</b>								

Fuente: Anexo N° 06 del instructivo para implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios en viviendas urbanas del distrito, según el porcentaje establecido en el instructivo. MINAM, 2015.

- (1) Considera restos de alimentos, cáscaras de frutas y vegetales, excrementos de animales menores, huesos y similares.
- (2) Considera ramas, tallos, raíces, hojas y cualquier otra parte de las plantas producto del clima y las podas.
- (3) Considera papel tipo bond, papel periódico y otros.
- (4) Considera cartón marrón, cartón blanco, cartón mixto.
- (5) Considera vidrio blanco, vidrio marrón, vidrio verde.
- (6) Considera botellas de bebidas, gaseosas, aceite comestibles.
- (7) Considera botellas de yogurt, legía, aceite, champú, bateas, otros recipientes.
- (8) Bolsas en general, envolturas.
- (9) Considera cajas tetrapack de jugos, yogures, etc.
- (10) Si es representativo considerarlo en este rubro, de lo contrario incorporarlo en otros.
- (11) Considera latas de atún, leche, conservas, fierro.
- (12) Restos de telas, textiles.
- (13) Considera restos de cartuchos, cuero o jebes.
- (14) Considera todo tipo de pilas, cables y baterías.
- (15) Considera restos de medicina, focos, fluorescentes, envases de pintura, plaguicidas y similares.
- (16) Considera papel higiénico, pañales y toallas higiénicas.
- (17) Considera, tierra, piedras y similares.
- (18) Considera aquellos restos que no se encuentran dentro de la clasificación.



Anexo C

**Tabla C.1.** Composición y cuantificación de RSD reaprovechables

N°	Tipo de RSD reaprovechables	Porcentaje (%)	Generación total			
			t/día	t/semana	t/mes	t/año
1	Papel blanco					
2	Botellas de vidrio					
3	Plástico PET					
4	Plástico duro (PEAD)					
5	Metales ferrosos					
6	Caucho					
<b>Total</b>						

Fuente: Adaptación en base a la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015).

**Tabla C.2.** Estimación de ingresos económicos por la venta de residuos sólidos reaprovechables

N°	Tipo de RSD reaprovechables	Generación total	75% factibles de recuperar	Promedio de precios	Ingresos económicos
		(t/mes)		(soles/t)	(soles/mes)
		<b>A</b>	<b>B = Ax0.75</b>	<b>C</b>	<b>D = BxC</b>
1	Papel blanco				
2	Botellas de vidrio				
3	Plástico PET				
4	Plástico duro (PEAD)				
5	Metales ferrosos				
6	Caucho				
<b>Total</b>				-	

Fuente: Adaptación en base a la guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales del MINAM (2015).

Anexo D

Tabla D.1. Cálculo del área del relleno sanitario

Nº	Año	Generación de RSD (t/día)	Generación total de RSM		Volumen anual (m3)		Volumen total acumulado (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Área total (Has.)
			t/día	t/año	Compactado	RS+MC				
	A	B	C=B+(Bx30/70)	D=Cx365	E=D/0.12	F=E x 1.25	G	H=G/4	I=Hx1.3	J=I/10 000
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Fuente: Adaptado de la guía de identificación, formulación y evaluación social de proyectos de residuos sólidos municipales a nivel de perfil del MEF y MINAM (2008).

Anexo E

Tabla E.1. GPC de RSD urbanos del distrito de Antauta

N° de vivienda	Código	Número de habitantes	Generación de residuos sólidos domiciliarios urbanos del distrito de Antauta									Generación per cápita <sup>1</sup> Kg/hab/día
			Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
			Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg		
1	VRV-01	4	2.52	1.58	2.15	2.13	1.42	0.64	1.79	1.50	0.40	
2	VRV-02	4	0.98	0.80	0.58	0.94	0.98	1.06	1.46	1.94	0.28	
3	VRV-03	3	11.14	3.00	2.34	1.56	1.64	1.14	0.74	1.34	0.56	
4	VRV-04	5	13.98	4.26	0.74	2.30	1.92	1.72	2.02	1.62	0.42	
5	VRV-05	4	1.24	0.94	1.64	1.68	0.30	1.00		1.90	0.27	
6	VRV-06	4		0.32	2.12	1.32	1.50	0.62	1.92	1.90	0.35	
7	VRV-07	4	0.76	1.22	1.04	0.74	0.98	1.36	2.02	1.66	0.32	
8	VRV-08	4	1.14	0.64	1.30		1.68	2.08	1.38	0.06	0.26	
9	VRV-09	3	0.62	0.04	1.16	2.10	1.42	1.76	0.74		0.34	
10	VRV-10	5	2.14	2.94	0.58	0.88	5.34	1.32	0.76	3.34	0.43	
11	VRV-11	5		3.20	1.20	1.68	2.16	1.92	2.58	2.60	0.44	
12	VRV-12	2	0.14	0.54	1.04	0.94	1.06		1.10	0.85	0.40	
13	SCV-01	5	2.24	1.72	0.70	2.22	1.12	2.40	1.76	2.28	0.35	
14	SCV-02	3		4.10	2.68	0.20	2.10		3.12	1.96	0.67	
15	SCV-03	3		1.80	0.80		2.26	1.70		2.18	0.42	
16	SCV-04	4		3.40	1.40	1.90		2.30		1.90	0.39	
17	SCV-05	6		10.72		0.72	1.30	2.10	2.20		0.41	
18	SCV-06	4	0.44	4.26	2.30		0.90	1.30	1.02	1.66	0.41	
19	SCV-07	1		0.52		1.02	0.22		0.36	0.56	0.38	
20	SCV-08	2	0.88	1.20		1.03	0.90	1.76	0.80	0.82	0.47	
21	SCV-09	5		1.24	2.54	2.90	3.50	1.60	0.36	2.60	0.42	
22	SCV-10	2		1.12	0.50	0.61	0.90	0.43	0.47	1.08	0.37	
23	SCV-11	6	2.96	3.80	1.90	2.90	1.64	0.90	3.70	2.67	0.42	
24	SCV-12	3	5.20	0.46	0.76	0.64	1.78	3.50	1.36		0.40	
25	SCV-13	3		2.52	0.76	1.80	2.40	0.90	1.20		0.46	
26	SCV-14	6	3.84	1.30	0.70	2.50	1.40	2.92	7.08	1.74	0.42	
27	SCV-15	3		4.40		2.58	1.76	1.48		1.82	0.57	
28	MV-01	4	7.26	3.44	1.30		3.20	2.10	1.84	1.54	0.48	
29	MV-02	4	3.32	0.38		1.64	0.62	2.08	1.58	2.36	0.31	
30	MV-03	3		1.80		4.86	4.60	3.62	6.58		1.02	
31	MV-04	3	2.54	1.82	0.90	1.20		0.90	0.84	0.42	0.29	
32	MV-05	4	1.10	2.90	1.64	2.10	1.06	2.32	1.28	1.66	0.46	
33	MV-06	7	1.76	1.78	3.50	3.98	1.34	2.72	1.74	3.08	0.37	
34	MV-07	6		4.90	2.30	3.50	1.30		2.66	3.84	0.44	
35	MV-08	2		0.70		0.90	0.57			1.67	0.27	
36	MV-09	6	3.40	5.60	1.90	2.10	3.42	5.02		2.56	0.49	
37	MV-10	4	4.90	2.20	2.10	2.78	2.62	2.20	2.26		0.51	
38	MV-11	3		2.10	0.90	2.02		1.96		2.30	0.44	
39	MV-12	4	1.08	3.16	1.08	1.16	2.10	1.58	2.62		0.42	
40	MV-13	2	0.48	0.56	1.10		0.59	1.42	0.26	1.32	0.38	
41	PV-01	4	1.36	2.46	1.65		2.84	3.52	1.30	2.70	0.52	
42	PV-02	6	8.54	1.10	1.94	2.28	1.68	2.72	2.92	2.74	0.37	
43	PV-03	5	1.14	0.74	1.52	1.98	3.98	2.02	0.84	2.84	0.40	
44	PV-04	6	0.36	3.06	6.12	3.36	1.96	3.58		3.06	0.50	
45	PV-05	5	3.40	1.84	1.60	2.70	0.78	0.50	2.40	2.30	0.35	
46	PV-06	4	0.62	1.65	2.88		1.82	2.34	2.60		0.40	
47	PV-07	4	1.54	2.52	2.00	1.74	0.64	0.96		2.84	0.38	
48	PV-08	4		3.40	3.02	1.80	0.90	4.76	1.90	2.16	0.64	
49	PV-09	4			2.07	1.60	1.10	1.66		3.20	0.34	
50	PV-10	5	3.40	2.60	0.58	3.50		2.70	1.44	0.84	0.33	
51	PV-11	3	4.50	1.80	0.30		1.96	2.70	1.08	1.24	0.43	
52	PV-12	4	5.54	1.30	2.60	1.52	1.90	2.30	0.90		0.38	
53	BFV-01	2	1.34	1.05	0.90	0.79	1.20	0.24		2.06	0.45	
54	BFV-02	2	1.62	1.06		2.02	0.89	1.04	1.16		0.44	
55	BFV-03	4	3.40	1.78		2.26	1.70	2.50	2.30	1.16	0.42	
56	BFV-04	6		1.34	2.30		2.88	3.46		2.90	0.31	
57	BFV-05	3		1.04	2.10	1.22		2.04	1.22	1.72	0.44	
58	BFV-06	5	2.42	3.00	2.22	1.68	1.80	2.02	1.04	1.90	0.39	
59	BFV-07	6	4.30	4.68	3.80		2.62	1.62	1.72	3.80	0.43	
60	BFV-08	6	5.60	5.70	1.40		3.20	2.46	8.34	3.02	0.57	
61	BFV-09	4	3.40	1.90	2.30	1.46	1.68	1.04	1.60		0.36	
62	BFV-10	5	4.80	3.70	2.80	3.42		3.42	2.86	1.44	0.50	
63	BFV-11	4		4.68	2.08		2.44		0.48	1.84	0.41	
64	BFV-12	1	0.90		0.38	0.68		1.02	0.48		0.37	
65	BFV-13	6	1.26	0.80	1.54	0.72	3.84		2.14	4.86	0.33	
66	BFV-14	4	2.60	1.20		2.18	2.44	1.60	1.24	1.02	0.35	
67	BFV-15	6	3.40	2.30	0.58	1.94	0.50	3.50	0.90	2.50	0.29	
<b>Generación per cápita domiciliar del distrito de Antauta<sup>2</sup></b>											<b>0.42</b>	

Nota: El peso de los residuos sólidos del primer domingo (Día 0) se registran pero no se utilizaron para el cálculo.

$$(1) \text{ Generación per cápita para cada vivienda: } GPC_i = \frac{\text{Día 1} + \text{Día 2} + \text{Día 3} + \text{Día 4} + \text{Día 5} + \text{Día 6} + \text{Día 7}}{\text{Número de habitantes} \times 7 \text{ días}}$$

$$(2) \text{ Generación per cápita domiciliar del distrito: } GPC = \frac{GPC_1 + GPC_2 + GPC_3 + \dots + GPC_n}{n}$$

## Anexo F

Tabla F.1. Composición de RSD urbanos del distrito de Antauta

N°	Tipo de residuos sólidos	Composición de residuos sólidos domiciliarios							Total	Composición porcentual
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	%
1	Materia orgánica	13.70	12.88	14.54	12.14	11.67	9.09	10.15	84.17	53.22%
2	Madera, follaje	0.24	0.21	0.66	0.72	0.35	0.47	0.28	2.93	1.85%
3	Papel	0.88	0.45	0.62	0.58	0.80	0.42	0.39	4.14	2.62%
4	Cartón	1.62	0.40	0.86	0.72	1.22	0.82	0.96	6.60	4.17%
5	Vidrio	0.92		0.78		0.92	1.24	1.86	5.72	3.62%
6	Plástico PET	1.20	1.02	1.06	0.99	1.40	1.04	0.74	7.45	4.71%
7	Plástico duro	0.32	0.58	0.15	0.75	0.96	0.67	0.56	3.99	2.52%
8	Bolsas	1.30	0.98	1.40	1.79	0.96	1.07	1.72	9.22	5.83%
9	Tetrapak	0.45	0.11	0.04	1.18	0.12	0.08	0.41	2.39	1.51%
10	Tecnopor y similares	0.50	0.18	0.56	0.42	0.45	0.38	0.13	2.62	1.66%
11	Metal	0.82	0.93	1.02	0.81	1.16	1.49	1.11	7.34	4.64%
12	Telas, textiles	0.90	0.12	0.30	0.08	0.06	0.25	0.14	1.85	1.17%
13	Caucho, cuero, jebe	0.16			0.48	0.60	0.22	0.04	1.50	0.95%
14	Pilas		0.03	0.04	0.02	0.01		0.02	0.12	0.08%
15	Restos de medicinas, etc.		0.02			0.04			0.06	0.04%
16	Residuos sanitarios	1.02	1.05	1.15	1.66	0.90	1.01	1.68	8.47	5.36%
17	Residuos inertes	0.84	1.12	1.06	1.38	1.22	0.96	1.18	7.76	4.91%
18	Otros	0.08	0.16	0.58	0.16	0.23	0.32	0.28	1.81	1.14%
<b>Total</b>									158.14	100.00%

**Anexo G**

**Tabla G.1.** Resumen de la composición y generación de RSD urbanos del distrito de Antauta

Tipo de residuos sólidos		Porcentaje (%)	Generación total			
			t/día	t/semana	t/mes	t/año
Reciclables compostables	Materia orgánica	53.22	0.5056	3.539	15.168	184.54
	Madera, follaje	1.85	0.0176	0.123	0.528	6.42
<b>Sub total compostables</b>		<b>55.07</b>	<b>0.52</b>	<b>3.66</b>	<b>15.70</b>	<b>190.97</b>
Reciclables comerciables	Papel	2.62	0.0249	0.174	0.747	9.09
	Vidrio	3.62	0.0344	0.241	1.032	12.56
	Plástico PETT	4.71	0.0447	0.313	1.341	16.32
	Plástico duro (PEAD)	2.52	0.0239	0.167	0.717	8.72
	Metales	4.64	0.0441	0.309	1.323	16.10
	Caucho, cuero, jebe	0.95	0.0090	0.063	0.27	3.29
<b>Sub total comerciables</b>		<b>19.06</b>	<b>0.18</b>	<b>1.20</b>	<b>5.16</b>	<b>62.78</b>
<b>Sub total fracción recuperable</b>		<b>74.13</b>	<b>0.70</b>	<b>4.87</b>	<b>20.86</b>	<b>253.75</b>
No reciclables	Cartón	4.17	0.0396	0.277	1.188	14.45
	Bolsas	5.83	0.0554	0.388	1.662	20.22
	Tetrapack	1.51	0.0143	0.100	0.429	5.22
	Tecnopor y similares	1.66	0.0158	0.111	0.474	5.77
	Telas, textiles	1.17	0.0111	0.078	0.333	4.05
	Pilas	0.08	0.0008	0.006	0.024	0.29
	Restos de medicina, focos, etc.	0.04	0.0004	0.003	0.012	0.15
	Residuos sanitarios	5.36	0.0509	0.356	1.527	18.58
	Residuos inertes	4.91	0.0466	0.326	1.398	17.01
	Otros	1.14	0.0108	0.076	0.324	3.94
<b>Sub Total fracción no recuperable</b>		<b>25.87</b>	<b>0.25</b>	<b>1.44</b>	<b>6.18</b>	<b>75.23</b>
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>0.95</b>	<b>6.31</b>	<b>27.04</b>	<b>328.97</b>

## Anexo H



**Figura H.1.** Inadecuada disposición de residuos sólidos y riesgos para la salud y el ambiente de la población urbana del distrito de Antauta.



**Figura H.2.** Sensibilización y charla a la población participante sobre aspectos técnicos del manejo de residuos sólidos del distrito de Antauta.



**Figura H.3.** Charla y empadronamiento a la población participante del distrito de Antauta.



**Figura H.4.** Recolección de RSD urbanos de las viviendas participantes del distrito de Antauta.





**Figura H.5.** Recolección de RSD de la población participante del distrito de Antauta.



**Figura H.6.** Segregación de RSD para determinar la composición de residuos sólidos del distrito de Antauta.





**Figura H.7.** Segregación de RSD para determinar la composición de residuos sólidos del distrito de Antauta.



**Figura H.8.** Segregación de RSD para determinar la composición de residuos sólidos del distrito de Antauta.