

Victoria Calambas, Fanor Alirio; Marmolejo Rebellón, Luis Fernando; Torres Lozada, Patricia
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, junio, 2012, pp. 59-73
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

ALTERNATIVAS PARA FORTALECER LA VALORIZACIÓN DE MATERIALES RECICLABLES EN PLANTAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS

ALTERNATIVES TO STRENGTHEN VALUATION OF RECYCLABLE MATERIAL AT SOLID-WASTE MANAGEMENT PLANTS IN SMALL TOWNS

Fanor Alirio Victoria Calambas

Administrador de Empresas. Joven Investigador, Facultad de Ingeniería
Universidad del Valle, Cali – Colombia
fanorvit@univalle.edu.co

Luís Fernando Marmolejo Rebellón

Ingeniero Sanitario, M.Sc., Ph.D. Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería
Universidad del Valle, Cali – Colombia
luis.marmolejo@correounivalle.edu.co

Patricia Torres Lozada

Ingeniero Sanitario, M.Sc., Ph.D. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería
Universidad del Valle, Cali – Colombia
patricia.torres@correounivalle.edu.co

Fecha de recepción: 23 de diciembre de 2011

Fecha de aprobación: 28 de mayo de 2012

RESUMEN

En Colombia, las plantas de manejo de residuos sólidos (PMRS) han ganado espacio en la gestión de residuos sólidos municipales en pequeñas localidades. Sin embargo, aunque se consideran ambientalmente deseables, se cuestiona su rentabilidad. En este artículo se proponen opciones para fortalecer la valorización de la fracción reciclablde de los residuos sólidos municipales (RSM), tomando como referencia tres poblaciones del Valle del Cauca. Para tal fin, se analizaron la composición de los residuos, el funcionamiento de las PMRS y el mercado de los productos. Los reciclables, además de alcanzar proporciones mayores al 13,7% de los RSM, constituyen la línea de producción de mayor rentabilidad en las PMRS; y su valorización, que contribuye a resolver problemas prioritarios en estas localidades como falta de empleo y manejo inadecuado de los RSM, puede generar beneficios económicos.

Palabras clave: residuos sólidos municipales, valorización de residuos, cadena de reciclaje.

ABSTRACT

Colombian solid-waste management plants –SWMP– have been increasingly included in solid-waste management of specific small towns. However, although they are environmentally desirable their profitability has been questioned. This paper includes options to strengthen the valuation of a recoverable fraction of municipal solid waste –MSW– using as a reference three towns of Valle del Cauca. To carry out this project, the solid waste composition, the SWMP functioning and the product market were analyzed. Recyclable materials, besides reaching proportions higher than 13.7 percent of MSW are the most profitable line by SWMP. Their valuation, besides contributing to solve priority problems of these towns, such as unemployment and inadequate MSW management has a potential economy payback.

Keywords: municipal solid waste, valuation of recyclable solid waste, recycling chain.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento y valorización de los RSM es una alternativa que permite reincorporar al ciclo productivo materiales ya desechados, que contribuye al rendimiento de los recursos [1], impactando positivamente al ambiente y a la salud pública [2], generando posibilidades de obtener beneficios económicos [3].

En Colombia, la jerarquía para la gestión de residuos sólidos ubica el aprovechamiento y valorización como una opción prioritaria en el manejo de los residuos generados [4]. Sin embargo, la Contraloría General de la República [5] señala que más de 24.000 toneladas diarias de reciclables (90% del total generado), se dejan de utilizar, y se pierde así la posibilidad de reincorporarlos al flujo económico.

El reciclaje es una operación de valorización mediante la cual los residuos son transformados en productos, materiales o sustancias nuevas, con la finalidad original o con cualquier otro fin [6]. Mediante el reciclaje, se reincorporan al ciclo productivo materiales como papel, cartón, plástico, vidrio, caucho y metales que en Colombia, constituyen aproximadamente el 25% de los residuos generados, y existe un mercado establecido con posibilidades de expansión [7].

En el País, el reciclaje ha venido siendo estimulado con opciones como las cadenas de reciclaje y las PMRS. Las primeras tienen como propósito obtener materias primas a partir de residuos, para introducirlas de nuevo en el ciclo de vida e incluyen distintos eslabones, que se inicia en el lugar donde se genera el residuo y finaliza con la valorización de los materiales recuperados al transformarlos en otros productos. Existe un grupo de actores que por medio del mercado, comercializan los materiales, generan un valor y una economía [7].

Las PMRS son unidades productivas orientadas principalmente al aprovechamiento y valorización de los RSM [8], y vienen instaurándose por lo general, en municipios menores¹. El reciclaje es una de las dos líneas de producción que soporta el funcionamiento de las plantas y además, genera los mayores ingresos por venta de productos [10].

Aunque la Procuraduría [11] y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) [10] resaltan los beneficios ambientales de las PMRS, también cuestionan su sostenibilidad financiera. Al referirse a ellas, la SSPD [12] indica que uno de sus mayores problemas de manejo es la comercialización de los materiales por su precio de venta, que no recupera el costo de producción, debido a la existencia de un mercado reducido, deficiencias en la calidad de los productos y altos costos de transporte de los materiales. De lo anterior se deduce que aunque las PMRS hacen parte del eslabón de la transformación, los procesos desarrollados en las mismas, no son suficientemente efectivos para continuar con la comercialización y valorización, y queda incompleto el ciclo planteado en las cadenas de reciclaje.

En este artículo, se analizan los procesos adelantados con los materiales reciclables en las PMRS y los mercados para sus productos, y se plantean alternativas para concluir el ciclo de valorización propuesto en las cadenas de reciclaje. Para ello, se tomó como referencia las PMRS de los municipios Bolívar, La Victoria y Versalles, que son las de mayor tiempo de operación en zonas urbanas del departamento del Valle del Cauca (Colombia), y además, su funcionamiento es similar al planteado por la SSPD [10] para las plantas del País. Los elementos aportados pueden tomarse como referencia para fortalecer la sostenibilidad de las PMRS y en consecuencia, la gestión integral de los residuos sólidos en Colombia.

1. METODOLOGÍA

1.1. ÁREA DE ESTUDIO

Los municipios Bolívar, La Victoria y Versalles se ubican en el norte del departamento del Valle del Cauca (Colombia), y fueron los primeros de la región en implementar PMRS como alternativa para el manejo de integral de los residuos sólidos. Por encontrarse entre las zonas cafetera y agroindustrial del valle geográfico del río Cauca y las condiciones favorables de su infraestructura vial, facilitan su conectividad con Armenia, Cali y Pereira (capitales de los departamentos de Quindío, Valle del Cauca y Risaralda respectivamente), y las ciudades de Buga, Cartago, Tulúa, Palmira y Zarzal, polos de desarrollo del País y del Valle del Cauca. La Tabla 1 presenta la información general sobre los municipios estudiados.

¹ De acuerdo con el artículo 2 del Decreto 421 del 8 de marzo de 2000, se consideran municipios menores los correspondientes a las categorías quinta y sexta, definidas por los artículos 6 de la Ley 136 de 1994 y 93 de la Ley 388 de 1997 [9], es decir, distritos con población menor o igual a 10.000 hasta 20.000 habitantes.

Tabla 1. Información general de los municipios estudiados

MUNICIPIO	POBLACIÓN A 2009 ¹		% POBLACIÓN CON NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS ²		ACTIVIDAD ECONÓMICA	PRESTADOR DE SERVICIO DE ASEO
	URBANA	RESTO	URBANA	RESTO		
Bolívar	3.632	10.929	13,2	35,9	Agricultura	Corporación Socioecológica de base comunitaria
La Victoria	9.501	4.277	14,6	27,2	Ganadería, agricultura	Administración Municipal
Versalles	3.966	3.864	11,1	26,2	Agricultura, ganadería	Administradora Pública Cooperativa de base comunitaria

Fuente: ¹ [13], ² [14]

La prestación del servicio de aseo en las tres localidades, incluye la recolección conjunta en volquetes y el traslado posterior a las PMRS, en donde los residuos se separan a mano, y se clasifican en compostables, reciclables y no aprovechables. El servicio cubre usuarios residenciales, comerciales e institucionales de las localidades. La limitación de espacio para ubicar sitios de disposición final, la resistencia de las poblaciones para implantarlos, los elevados costos del transporte a los rellenos sanitarios regionales, los altos niveles de desempleo y la difícil situación socioeconómica, son factores que impulsan la aplicación del aprovechamiento y valorización en estas tres localidades.

1.2. RECOLPILACIÓN DE INFORMACIÓN

La información se recopiló en cuatro etapas a saber:

1. Estimación de las cantidades y composición de los RSM: para tal efecto, se tomó como referencia un estudio de muestreo y caracterización financiado por la autoridad ambiental regional en Bolívar [15], y los estudios adelantados por Amézquita y Bedoya [16] en La Victoria, Erazo y Pereira [17] en Versalles y Marmolejo [18] en las tres localidades. A partir de esta información, se estimaron las cantidades, tipos y el flujo de los residuos reciclables generados en cada zona objeto de estudio. Para ampliar la información sobre las condiciones de llegada de los materiales a las PMRS, se hizo un seguimiento a la prestación del servicio de aseo en las localidades, centrándose en las etapas de presentación y recolección, y transporte de los RSM.
2. Diagnóstico del aprovechamiento de materiales reciclables en las PMRS: incluyó la observación de los esquemas de recepción y clasificación de los materiales y de los procesos de selección

y acondicionamiento en las PMRS. Las observaciones fueron complementadas al estimar las cantidades de materiales recibidas y comercializadas, revisar registros de comercialización y entrevistas semiestructuradas a los operadores, supervisores y operarios de las plantas, en las cuales se amplió la información sobre elementos como criterios de clasificación y denominaciones de los materiales, precios y lugares de venta, y prácticas para acondicionar materiales.

3. Reconocimiento del mercado regional de materiales reciclables: con base en la información suministrada por los operadores de las PMRS y las consultas a dependencias municipales relacionadas con la gestión de residuos sólidos, se identificaron los compradores de los materiales reciclables en Cali, Tuluá y Zarzal, localidades con las cuales los operadores de las tres PMRS, han establecido las mayores relaciones para comercializar los materiales. En total, se identificaron y contactaron 46 establecimientos de los cuales, 14 accedieron a ser visitados. El objeto de la visita fue recopilar información sobre la estructura organizacional e infraestructura para el reciclaje, materiales comercializados, precios, cantidades y criterios de calidad para la comercialización.
4. Formulación de alternativas para fortalecer la valorización de los materiales reciclables en las PMRS: con base en los resultados de las fases anteriores, se formularon opciones para fortalecer las PMRS como eslabón dentro de las cadenas de reciclaje, mediante reuniones periódicas denominadas Encuentros Regionales de Sistemas de Aprovechamiento de Residuos Sólidos en el Valle del Cauca, en donde representantes de las administraciones municipales, autoridades ambientales nacionales y regionales, operadores y operarios de las PMRS e integrantes del grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental de la Universidad del Valle, presentaron y analizaron información sobre los aspectos clave del funcionamiento de las PMRS. En total, se realizaron 11 encuentros cada uno con una duración entre 1 y 2 días.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. RESIDUOS EN LAS PMRS

Cantidades y Composición de los RSM. La Tabla 2 presenta la composición física de los RSM generados en las localidades objeto de estudio. En todos los casos, se observa el predominio de los biorresiduos (residuos de comida y jardín), y también son significativas las proporciones de residuos higiénicos que están entre el 4,4% y 9%.

Los reciclables como el papel, cartón, plástico, vidrios y metales alcanzan entre 13,7% y 34,9%. Análisis de calidad hechos *in situ*, permitieron estimar que el 70% de estos materiales pueden ser reciclados [18], y con una generación diaria correspondiente a la producción *per cápita*, la cantidad de reciclables en Bolívar, La Victoria y Versalles sería de 8.3, 17.0 y 3.7 t/mes respectivamente.

Tabla 2. Composición física de los RSM generados en las localidades objeto de estudio

LOCALIDADES	BOLÍVAR ¹	LA VICTORIA ²	VERSALLES ³
p.p.c. (kg/habitante-día)	0,31	0,43	0,27
No. Habitantes atendidos⁴	3.632	13.828	3.966
COMPOSICIÓN FÍSICA (% EN PESO)	Residuos de comida	51,3*	64,48
	Jardín	----	1,0
	Residuos higiénicos	4,4	8,93
	Papel	9,7	3,08
	Cartón	2,8	1,24
	Plástico	17,1	7,20
	Vidrio	3,9	2,0
	Metales	1,4	1,1
	Caucho y cuero	0,2	**
	Textiles	3,0	3,2
	Madera	**	**
	Cerámicos	**	0,5
	Hueso	0,1	0,8
	Otros	6,0	4,6

* Incluye residuos de jardín. **Incluidos en otros.

Fuentes: ¹ [15], ² [16], ³ [17], ⁴ [13]

Aprovechamiento de Materiales Reciclables en las PMRS. La poca aplicación de la separación en la fuente, la recolección conjunta de residuos y la toma de materiales en el sitio de presentación por parte de recuperadores informales disminuyen la cantidad y afectan la calidad de los reciclables que llegan a las PMRS. En el caso de La Victoria, Marmolejo *et al.* [8] indican que 43,6% del material reciclabl e presentado por los usuarios es tomado por los recuperadores en el sitio de presentación y además, que debido a condiciones inadecuadas de separación, recolección y proceso en la PMRS, el 60,9% del material con potencial de aprovechamiento se convierte en rechazo. En Versalles, Erazo y Pereira [17] encontraron que 70,6% del material reciclabl e es recolectado por los recuperadores locales y de todo el material aprovechable (biorresiduos y reciclabl e), 0,58% va al sitio de disposición final como rechazo, demostrando la alta eficiencia en los procesos de recuperación que son llevados a cabo en la PMRS de esta población. En Bolívar, la presencia de recuperadores informales es esporádica, haciendo que a la PMRS llegue casi siempre la totalidad de los materiales reciclabl e presentados por los usuarios; de estos materiales se comercializa alrededor del 40% [18]. En la Tabla 3 se presenta información sobre el número de operarios de las plantas, cantidades de materiales reciclabl e procesados e ingresos por venta de productos para el año 2008; pudiéndose establecer que dichos ingresos son insuficientes para cubrir los costos de operación y mantenimiento, dado que el Salario Mínimo Legal Vigente para 2008 era de \$461.500 [19].

Tabla 3. Información PMRS objeto de estudio

LOCALIDAD	No. OPERARIOS	CANTIDAD PROMEDIO MATERIALES RECICLABLES PROCESADOS (t/mes)	INGRESOS VENTAS PRODUCTOS AÑO 2008 (Pesos colombianos)
Bolívar	5*	4,72	\$4.759.420
La Victoria	20	8,01	\$6.535.883
Versalles	5*	2,56	\$3.778.440

Fuente: elaboración propia

*Hacen parte de la cuadrilla de recolección de los RSM

Teniendo en cuenta que los residuos llegan mezclados a las PMRS, al interior de las mismas operarios locales los separan y clasifican manualmente, adoptando esquemas de operación de acuerdo con su experiencia y los requerimientos de los compradores. La separación de residuos se lleva a cabo por tipo de material en condiciones ocupacionales que generan riesgos físicos, químicos, ergonómicos, con rendimientos bajos en comparación con sistemas mecanizados como los propuestos por Díaz y Savage [20]. La Tabla 4 sintetiza los procesos de acondicionamiento a que son sometidos los materiales en las PMRS.

Tabla 4. Procesos de acondicionamiento de materiales

MATERIAL	PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO
Metal	Separación por tipo, compactación y embalaje
Vidrio	Separación por tipo
Papel y Cartón	Separación por tipo y embalaje
Plástico	Separación por tipo, compactación y embalaje

Fuente: elaboración propia

La Tabla 5 presenta una relación de la cantidad de denominaciones dadas a los materiales reciclables en las PMRS estudiadas; se observa una disparidad en el número de denominaciones y por ende de categorías de clasificación, lo cual incide tanto en las posibilidades de comercialización como en los precios de mercado.

De acuerdo con estudios realizados por UNICEF et al. [21] en poblaciones intermedias y capitales de Departamento, en el País se comercializan cerca de 109 categorías de materiales reciclables y en las PMRS estudiadas, sólo 33; las mayores diferencias se presentan en papel, plástico y vidrio porque mientras que en el País se mercadean 11, 34 y 36 respectivamente, en las PMRS 5, 8 y 9.

Según las posibilidades del mercado y el estado de los materiales, esporádicamente son sometidos a una limpieza incipiente para eliminar tierra, adhesivos, gomas, plastificados, grapas u otros

elementos gruesos. Después, los materiales son compactados y/o embalados para almacenar y venderlos. La compactación se aplica a materiales como papel, cartón, plásticos y latas metálicas, con el objeto de disminuir el volumen y optimizar el transporte.

Tabla 5. Cantidad de denominaciones dadas a los materiales reciclables en la PMRS estudiadas

LOCALIDAD	TIPO DE MATERIAL				
	PAPELES Y CARTONES	PLÁSTICOS	VIDRIOS	METALES	OTROS
Bolívar	3 (archivo, cartón y kraft)	4 (PTE, soplado, bolsas y panam)	4 (botella, vidrio roto, envase y revolitura)	10 (loción, olla, clausen, salchichero, grueso, bronce, cobre, perfil, resistencia y chatarra)	2 (parafina y palos de escoba)
La Victoria	3 (archivo, cartón y kraft)	8 (PTE, soplado, bolsas, panam, tostada, vaso desechable, tapa y transparente)	5 (botella, vidrio roto, revolitura, caneca de antioqueño y caneca del valle)	8 (olla, clausen, grueso, bronce, cobre, lámina, perfil y chatarra)	1 (hueso)
Versalles	5 (archivo, cartón, kraft, revista y periódico)	4 (bolsas, panam, tostada y vaso desechable)	4 (frascos, botella, revolitura y caneca del valle)	6 (loción, olla, clausen, salchichero, resistencia y chatarra)	1 (palos de escoba)

Fuente: elaboración propia

2.2. MERCADO REGIONAL DE LOS MATERIALES RECICLABLES

El reconocimiento del mercado permitió identificar dos tipos de acopiadores y un transformador en la cadena de reciclaje. Los pequeños acopiadores están ubicados localmente y compran los materiales a recuperadores informales y en forma directa, en puntos de generación. Los medianos acopiadores están en municipios intermedios y compran a los pequeños acopiadores o a las PMRS. Estos últimos disponen de medios de transporte para comprar los materiales en el punto de venta, venden a los transformadores o procesan materiales como el plástico *in situ* (trituran, aglutan o peletizan). Los transformadores compran específicamente el material que procesan para la manufactura de nuevos productos. La Tabla 6 presenta la caracterización de los actores en la cadena de reciclaje.

Las PMRS Bolívar y Versalles venden los materiales recuperados a los medianos acopiadores que asumen los costos de transporte. La Victoria también vende a este tipo de acopiador, pero según de las cantidades, puede vender en planta o directamente en el sitio de compra.

Tabla 6. Caracterización de los actores de la cadena de reciclaje

ASPECTO	PEQUEÑOS ACOPIADORES	MEDIANOS ACOPIADORES	TRANSFORMADORES
Área Establecimiento	Desde 40 a 260 m ²	Desde 8 a 2000 m ²	Entre 120 y 2500 m ²
Equipos Manejados	Principalmente equipo de compactación	Varios de los siguientes equipos: pesaje, compactación, montacargas, trituración y peletizado	Varios de los siguientes equipos: pesaje, compactación, montacargas, transformación de plástico, transformación de papel y cartón
Tiempo de operación	Desde 3 a 6 años (5)	Desde 1 a 20 años	Desde 1 a 10 años
No. empleados	Entre 2 y 4	Entre 4 y 20	Entre 7 y 70
Recicladores informales que atiende	8 o más diarios	Hasta 10 diarios	Ninguno
Proveedores	Recicladores, hogares, clínicas y algunos establecimientos comerciales.	Empresas de artes gráficas, litográficas, industria, comercio, oficinas, instituciones, PMRS, acopiadores tipo A y recicladores.	Chatarrerías generales, chatarrerías especializadas, PMRS y establecimientos comerciales.
Clientes	Medianos acopiadores	Empresas procesadoras de papel, plástico, vidrio y metales.	Consumidores del producto final.

Fuente: elaboración propia

La Tabla 7 sintetiza las especificaciones mínimas de calidad para comercializar reciclables (papel, cartón, plástico y vidrio), por parte de los acopiadores y transformadores. La mezcla de materiales (residuos), en el sitio de generación, vehículo de transporte y/o en la PMRS son una limitante para cumplir estos estándares.

La Tabla 8 presenta información sobre las cantidades y precios promedio mensuales de los materiales comercializados en las PMRS objeto de estudio, durante los años 2008-2009.

Como se puede deducir de la Tabla 8, factores como la ubicación geográfica y el grado de desagregación de los materiales, influyen en los precios de comercialización de los materiales. Versalles es el municipio geográficamente más distante de centros poblados o ciudades intermedias en donde puedan comercializarse los productos y además genera las menores cantidades, lo cual se traduce en menores precios de comercialización. Aunque Bolívar presenta la mayor oferta de materiales aprovechables, tiene un menor grado de desagregación de los mismos y además, los comercializa directamente en la localidad. Los mejores precios de venta los tiene La Victoria, debido a la mayor desagregación de materiales, la posibilidad de comercializar los materiales

directamente en el establecimiento del comprador y a su cercanía y facilidad de acceso a los municipios de Armenia, Cartago, Pereira y Zarzal. La Figura 1 muestra la cadena de reciclaje en los municipios estudiados.

Tabla 7. Especificaciones mínimas de calidad para comercialización de reciclables

MATERIAL	ESPECIFICACIONES
Papeles y cartones	Sin manchas y residuos de grasas, aceites industriales y vegetales, pinturas, solventes, orgánicos, gomas, parafinas y pegantes
	Seleccionado, separado y sin mezcla de otros tipos de materiales como papel carbón, revistas, adhesivos, plastificados y grapas
	Sin humedad
	Embalado o compactado
Plásticos	No contaminado con biorresiduos, sustancias peligrosas, químicas y pinturas
	No expuesto a la intemperie por largos periodos
	Seleccionado y separado por tipos de resina y/o proceso, sin mezcla de otros materiales
	Preferiblemente seco
	Embalado o compactado
Vidrio	Separado por color o forma de presentación
	Sin tapas metálicas
	Preferiblemente triturado
	Libre de arena, tierra u otros contaminantes

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Cantidades y precios (\$ colombianos) promedio mensuales de materiales comercializados en las PMRS (2008 – 2009)

TIPO DE MATERIAL	PMRS BOLÍVAR		PMRS LA VICTORIA		PMRS VERSALLES	
	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg
PAPEL Y CARTÓN						
Archivo	484	468	245	545	260	377
Cartón	872	179	268	205	398	140
Kraft	133	86	80	75	130	43
PLASTICO	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg
PTE	560	255	449	450	----	----
Soplado	553	320	1.266	650	----	----
Plástico (bolsas)	2.459	201	207	170	1.784	130
Panam	229	315	92	600	27	400

TIPO DE MATERIAL	PMRS BOLÍVAR	PMRS LA VICTORIA	PMRS VERSALLES			
VIDRIO	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg
Vidrio roto	1.293	57	963	100	633	50
BOTELLAS	Und/mes	\$/Und	Und/mes	\$/Und	Und/mes	\$/Und
Caneca Valle	----	----	140	183	638	30
Botella champaña	92	150	29	207	74	150
Botella cariñoso	28	100	56	100	170	90
Revoltura	64	100	52	77	119	45
METALES	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg	kg/mes	\$/kg
Aluminio olla	33	2.800	28	2.267	----	----
Aluminio clausen	56	2.250	51	1.600	12	2.200
Aluminio grueso	20	1.000	7	1.000	----	----
Bronce	16	3.000	7	5.500	----	----
Cobre	10	7.000	4	8.167	----	----
Resistencia	3	410	----	----	17	400
Chatarra	667	233	555	280	314	290

Fuente: elaboración propia

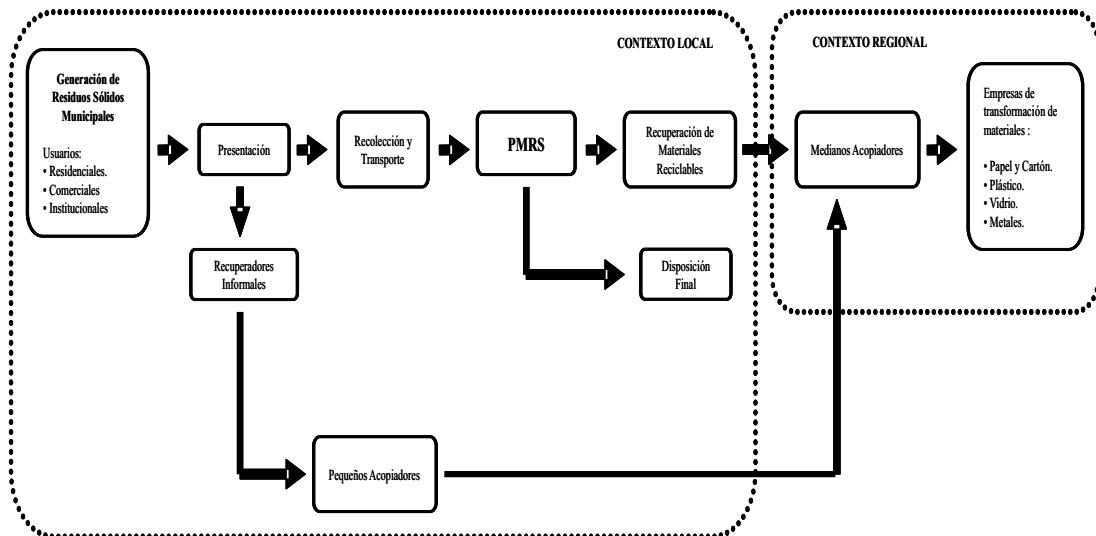


Figura 1. Cadena de reciclaje en municipios estudiados

Fuente: elaboración propia

3. ALTERNATIVAS PARA FORTALECER LA VALORIZACIÓN DE LOS MATERIALES RECICLABLES EN LAS PMRS

A continuación, se plantean alternativas para contribuir al fortalecimiento de la valorización de los materiales reciclables en las PMRS de los municipios objeto de estudio:

Estímulo a la separación en la fuente: es una alternativa para mejorar la cantidad y la calidad de los materiales por recuperar. Erazo y Pereira [17], encontraron que en Versalles, el 93,5% de los usuarios residenciales realiza algún tipo de separación de sus residuos y el aprovechamiento de materiales reciclables en la localidad es de un 98,3%. Marmolejo et al [8] recomiendan que las actividades de estímulo para separar en la fuente, deben ser continuas y variadas. Teniendo en cuenta el éxito de las actividades de sensibilización desarrolladas en Versalles, pueden tomarse como referencia en las otras localidades.

Implantación de la recolección selectiva: es una alternativa complementaria a la separación en la fuente, para evitar la mezcla de materiales. Aunque existe la posibilidad de desarrollar rutas específicas por tipo de material o realizar la recolección en vehículos separados, es necesario evaluar los costos de las mismas. Una opción para reducir costos es compartimentalizar los vehículos [22]. En Versalles, aunque el vehículo no está compartimentalizado, la separación de los residuos por los usuarios y el cuidado en la forma de organizarlos por parte de la cuadrilla de recolección, ha contribuido a la conservación de la calidad de los materiales.

Capacitación de operarios de las PMRS: debe incluir aspectos relacionados con la clasificación de los materiales y los procedimientos necesarios para alcanzar los estándares de calidad requeridos por el mercado, bajo condiciones ocupacionales y ambientales adecuadas. La cercanía entre las localidades, la similitud en los tipos de materiales generados y la existencia de mercados comunes, facilitan el desarrollo de actividades de capacitación e integrar los operarios de las tres localidades.

Mejoramiento de procesos: es conveniente realizar estudios de factibilidad económica y financiera para establecer la posibilidad de ampliar los procesos de transformación de papel y plástico en las PMRS. Las cantidades generadas y los requerimientos tecnológicos para la transformación *in situ* del vidrio y los metales, hacen poco viable la posibilidad de procesarlos localmente. Una evaluación de mercados para materiales plásticos realizada por Paredes y Serna [23], mostró que en la medida en que el proceso de transformación de materiales aumenta, las oportunidades en el mercado también. Con base en lo anterior, se infiere que la aplicación de procesos de transformación como la trituración *in situ*, podría disminuir significativamente los costos de transporte y además, mejorar las condiciones del mercado. Así mismo, por efecto de la economía de escala, es conveniente evaluar la posibilidad de aplicar opciones de transformación como el aglutinado y la peletización centralizados en una planta.

Integración de PMRS: ante la situación que expone la SSPD [10] frente a las PMRS del País, y conforme lo observado en los casos analizados, se considera que las prácticas de operación y gestión de cada planta, han mostrado un menor impacto en su funcionamiento frente al esperado. Aspectos como la cercanía entre localidades, la facilidad de comunicación entre las mismas, la existencia de mercados comunes y los beneficios de la economía de escala facilitarían hacerle frente a la situación de manera conjunta. Para ello se plantea estructurar una red de trabajo que represente iniciativas e intereses del grupo de PMRS, con visión para implementar las alternativas planteadas para fortalecer la cadena de reciclaje y alcanzar la valorización de residuos.

4. CONCLUSIONES

En las poblaciones estudiadas, se generan entre 3,7 y 17,0 t/mes de residuos reciclables que tienen potencial para ser mercadeados en la región. 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 a 40% del total de residuos reciclables generados y que los requerimientos de espacio y logística para la disposición final de residuos sean mayores que los proyectados en los diseños.

En la medida en que se conjuguen la decisión de la comunidad de afianzar prácticas de manejo que favorezcan el aprovechamiento y exista una organización prestadora del servicio de aseo que estimule la recolección selectiva, establecer acuerdos con usuarios y recuperadores informales y capacitar operarios, se obtendrán materiales de mejor calidad, lo cual puede ser aprovechado para crear empleo y cualificar mano de obra local.

En el caso de los procesos de transformación de estos materiales, opciones de acondicionamiento *in situ* como la trituración de materiales y la transformación como el aglutinado en una sola PMRS, pueden reducir los requerimientos y costos de almacenamiento y transporte y además, incrementar las posibilidades de comercialización, que contribuirá a la sostenibilidad financiera.

La integración de las PMRS puede ser una estrategia con alto potencial para posicionarlas como alternativa sostenible de la gestión de residuos sólidos en la región, situación que es favorecida por aspectos como la conectividad de las poblaciones, los beneficios de la economía de escala y la existencia de mercados para los productos recuperados.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados en este documento se obtuvieron en el marco del proyecto de investigación “Estrategias para la sostenibilidad de sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos en cabeceras municipales con poblaciones menores a 20 mil habitantes” financiado por la Universidad del Valle y de la formación de un Joven Investigador apoyado por COLCIENCIAS y la Universidad del Valle. Los autores agradecen los apoyos institucionales y a los prestadores del servicio de aseo de los municipios Bolívar, La Victoria y Versalles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Naciones Unidas, (2002). Informe de la cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible. Johannesburgo, Sudáfrica, 184 p.

- [2] Troschinetz, A.M., (2005). Twelve factors influencing sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries; Thesis Submitted (Master Of Science in Environmental Engineering). Michigan Technological University. Estados Unidos, 139 p.
- [3] Bartone C., (2009). Gestión, recuperación y reciclaje de los desechos municipales; estrategia para la autosuficiencia en los países en desarrollo. En: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/gestion/gestion.html> (octubre de 2009).
- [4] Ministerio del Medio Ambiente, (2002). Selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos: Guía. Programa Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana (FIGAU). Bogotá, 183 p.
- [5] Contraloría General de la República (2005). Auditoría especial al manejo de residuos. Contraloría delegada medio ambiente. En: http://www.environmentalauditing.org/Portals/0/AuditFiles/co136spa05ar_ft_wastemanagement.pdf (agosto de 2009).
- [6] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2008). Directiva 2008 de 1998 / CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008. Sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Diario Oficial de la Unión Europea, 22 de noviembre. En:http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/calidad_contaminacion/pdf/Directiva_Marco_2008_98_CE_sobre_los_residuos.pdf (enero de 2010).
- [7] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), (2007). Evaluación de las cadenas de reciclaje. Informe MAVDT, Bogotá, p.173.
- [8] Marmolejo L. *et al.*, (2009). Flujo de residuos. Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales. En: Revista Ingeniería y Competitividad, Vol. 11 (2), pp. 79-93.
- [9] Ministerio de Desarrollo Económico, (2000). Decreto 421 del 8 de marzo de 2000. En: http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/decretoslinea/2000/marzo/08/dec421082000.pdf (julio de 2009).
- [10] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, (2008). Diagnóstico sectorial. Plantas de aprovechamiento de residuos sólidos. En: http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=73cf722-c46e-4caf-b03f-486810f6536c&groupId=10122 (febrero de 2010).
- [11] Procuraduría General de la Nación, (2003). Informe de seguimiento de gestión de los residuos sólidos en Colombia. Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, Bogotá, 233 p.
- [12] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, (2009). Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia – Diagnóstico 2009. En: <http://www.superservicios>.

- gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=bcd04c23-976c-4244-9ed5-1685b66824fe&groupId=1012 (enero de 2010).
- [13] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (2005). Proyecciones de población municipales por Área 2005 – 2009. En: www.dane.gov.co (febrero de 2009).
 - [14] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (2008). Hacia un Valle del Cauca incluyente y pacífico. Informe regional de desarrollo humano. Cali, p.425.
 - [15] Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Pacífico Verde, (2008). Elaboración de la estructura tarifaria y del diseño de ampliación de la PMIRS del municipio de Bolívar y diseño para la construcción de la PMIRS del municipio de Roldanillo, Cali.
 - [16] Amézquita C.P., y Bedoya D.F, (2009). Estimación del flujo de residuos sólidos en la cabecera de La Victoria, Valle del Cauca. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 99 p.
 - [17] Erazo K., y Pereira J., (2010). Estimación del flujo de residuos sólidos en la cabecera del municipio de Versalles, Valle del Cauca. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 95 p.
 - [18] Marmolejo L., (2011). Marco conceptual para la sostenibilidad de sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos en cabeceras municipales con poblaciones menores a 20,000 habitantes del Valle del Cauca. Tesis (Doctorado). Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 190 p.
 - [19] Presidencia de la República de Colombia (2007). Decreto 4965 del 27 de diciembre de 2007. En: <http://www.alcaldiaabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=28057> (agosto de 2012).
 - [20] Díaz L., y Savage G., (2008). Basis for the design, operation, and maintenance of the installations. Taller diseño y operación de instalaciones para el aprovechamiento de los residuos residenciales en municipalidades menores de 20.000 habitantes. Armenia.
 - [21] UNICEF. (2008). Aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. Formulación del Programa para los Departamentos del Quindío, Caldas y Atlántico. Foro Sostenibilidad del Aprovechamiento de Residuo Sólidos en Colombia. Armenia.
 - [22] Rodríguez L., (2007). Cadenas productivas para el aprovechamiento de residuos sólidos. Incorporación de los recuperadores a la solución. En: Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Vol. 1 (67), pp. 57-68.
 - [23] Paredes L. y Serna Y., (2010). Estudio de viabilidad económica de una empresa recuperadora y procesadora de material reciclable de plástico en el municipio de Zarzal, Trabajo de grado. Facultad de Ciencias de la Administración. Universidad del Valle. Cali, 247 p.

