

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES – FRUTAS – EN MEDELLÍN Y EL SUR DEL VALLE DEL ABURRÁ, COLOMBIA

AGROINDUSTRIAL WASTE VALORIZATION - FRUITS – IN MEDELLÍN AND THE SOUTH OF VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA

Sandra Milena Yepes¹; Lina Johana Montoya Naranjo² y Fernando Orozco Sánchez³

Resumen. Los residuos industriales siguen convirtiéndose en un gran problema no sólo ambiental sino económico, ya que las mismas empresas tienen que asumir altos costos de disposición de éstos. Tal es el caso de la gran cantidad de residuos de frutas que se producen en la ciudad de Medellín y sus alrededores, debido al número extenso de empresas de este sector agroindustrial. En el presente trabajo se realizó un sondeo en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá para conocer la problemática actual de estos residuos. Posteriormente se realizó una caracterización físico-química a los residuos más representativos que permitiera proponer diferentes alternativas de aprovechamiento. Los principales residuos de las empresas encuestadas provienen de naranja, guayaba, guanábana y mango. Los principales procesos de valorización incluyen el compostaje, la lombricultura y la obtención de productos químicos. Sólo con las empresas encuestadas podrían montarse plantas de valorización de residuos con capacidad de procesamiento de 9 a 375 ton/mes, dependiendo del proceso. Si se utilizaran todos los residuos generados en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá, la capacidad de estas plantas de valorización podrían multiplicarse por 20.

Palabras clave: Cáscaras de frutas, residuos agroindustriales, valorización biológica, valorización térmica, compostaje.

Abstract. Industrial residues continuing being and economic problem so companies have to assume high costs to manage them. Such is the case of large amounts of fruit residues produced in Medellín, city and surroundings due to a great number of companies of this agroindustrial sector. In this work a scan was made in Medellín and the South of Valle de Aburrá to know the current problem of these residues. Subsequently a physical-chemistry characterization of the most representative residues with the purpose to propose different alternative uses. The main residues of the interviewed companies come from orange, guava, guanabana and mango. The main valorization processes include compost, worms culture and obtaining chemical products. Only with the interviewed companies, plants of waste valorization could be mounted with prosecution capacity from 9 to 375 ton/month depending on process. If all of the residues generated in Medellín and the South of the Valle de Aburrá were used, the capacity of these valorization plants could multiply for 20.

Key words: Shells of fruits, agroindustrial residues, biological valorization, thermal valorization, compost.

En la actualidad el alto desarrollo de la industria conlleva a la generación de residuos, de igual forma que al perfeccionamiento e implementación de nuevas técnicas o métodos para el aprovechamiento de éstos. En el proceso productivo de los alimentos, además del producto deseado, se generan subproductos, residuos y productos fuera de norma (Méndez, 1995), cada uno de los cuales pueden servir para consumo humano o animal y aplicación industrial, lo que

traería beneficios económicos. Sin embargo, la mayoría de este tipo de industrias no tiene algún plan para estos residuos, debido al alto costo de su reutilización y por el contrario, los ubican junto con la basura en los vertederos o rellenos sanitarios. Por ejemplo, en el país el manejo de los residuos sólidos se ha hecho históricamente en función de la prestación del servicio de aseo, pero cada vez más la capacidad de los rellenos sanitarios se ha venido

¹ Ingeniera Química. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <myepes@unalmed.edu.co>

² Ingeniera Química. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <ljomontoy@unalmed.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <feorozco@unalmed.edu.co>

Recibido: Febrero 19 de 2006; aceptado: Mayo 29 de 2008.

reduciendo, como es el caso del cierre del Relleno Sanitario de la Curva de Rodas en Medellín ocurrido el 31 Agosto de 2002 (Cardona, 2002). Esto obliga a que la recuperación de estos recursos deba ser inmediata. Debido a esta problemática se creó la denominada Política para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el país (leyes 99 de 1993 y 142 de 1994).

La industria de alimentos produce grandes cantidades de residuos que pueden ser aprovechados de diversas formas. Entre estos residuos se encuentran los provenientes de las frutas, los cuales pueden ser utilizados en alimentación animal y humana, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros. Para la elección adecuada de alguna de estas tecnologías se deben realizar evaluaciones tecnológicas, comerciales y de riesgos. Actualmente en Medellín y municipios al sur del Valle del Aburrá (Caldas, Itagüí, Envigado, La Estrella y Sabaneta) los residuos agroindustriales se arrojan en las basuras o en algunos casos, se utilizan como abono y concentrados para animales.

En el presente trabajo, se proponen nuevas alternativas de aprovechamiento de los residuos provenientes de las empresas que procesan frutas ubicadas en estos municipios. Para ello se realizaron encuestas en algunas industrias de Medellín y el sur del Valle del Aburrá, con el fin de conocer la cantidad y el tipo de residuos que ellas generan.

Alternativas de Valorización para los Residuos Agroindustriales

Existen básicamente tres grupos de tecnologías para la recuperación de recursos: la valorización biológica y química, la obtención de combustibles (derivados de desechos) y la valorización térmica (Abraham, Ramachandran y Ramalingam, 2007; Vijayaraghavan, Ahmad y Soning 2007; Tsai, 2008).

Valorización biológica y química. Este tipo de tecnología permite efectuar la disposición final de los residuos orgánicos para obtener gases, líquidos o sólidos que pueden ser comercializables. Entre los procesos biológicos más comunes y más usados por las industrias se encuentran el compostaje y la lombricultura. A continuación se realiza una breve descripción de éstos y de otras alternativas pertenecientes a este grupo.

Compostaje. El compost es el producto final obtenido mediante un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, en condiciones controladas de humedad y temperatura, que oscila entre 50 y 70°C, provocando así la destrucción de elementos patógenos y por tanto la total inocuidad del producto. Este material puede ser usado como mejorador de suelos o como abono.

Lombricultura. La lombricultura es una técnica en la que además del abono, se puede obtener proteína animal usando para ello la lombriz roja californiana que se alimenta de la materia orgánica y la convierte en humus o abono natural (Cardona, 2002). El humus, producido por la lombriz, está compuesto principalmente de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos como hongos y bacterias. Las cantidades de estos elementos dependerán de las características químicas del sustrato que dieron origen a la alimentación de lombrices (Legall, Dicoyskiy y Valenzuela, 2008). Estas lombrices pueden criarse en cualquier lugar del planeta que posea temperaturas entre 20 y 25°C, un intervalo de temperatura en el cual esta técnica presenta su mayor rendimiento (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA), 2008).

Pectinas. Las pectinas son polisacáridos que se componen principalmente de unidades de ácido galacturónico unidas por enlaces glicosídicos α 1-4. Son sustancias blancas amorfas que forman en agua una solución viscosa; combinadas en proporciones adecuadas con azúcar y ácidos, forman una sustancia gelatinosa utilizada como espesante (Fennema, 1993).

Enzimas. Las enzimas son biocatalizadores de naturaleza proteica. Todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas.

Aceites esenciales. Comúnmente llamados esencias. Están constituidos principalmente por terpenos, son sustancias de consistencia grasosa, más o menos fluidas, a veces resinosas, muy perfumadas, volátiles, casi siempre coloreadas y más livianas que el agua. Los aceites esenciales pueden extraerse de las flores, hojas, semillas, frutos, cortezas, raíces o de la madera (Ochoa, 1998).

Flavonoides y carotenoides. Los flavonoides o bioflavonoides son pigmentos naturales presentes en las frutas y en los vegetales, así como en el café, la cocoa y la cerveza, que protegen del daño de los oxidantes, como los rayos ultravioleta (Fennema, 1993). Los flavonoides se utilizan como suplemento alimenticio para animales y humanos, ingredientes de bebidas refrescantes y confites, desodorización, desinfección, inhibidores de trombosis, antiinflamatorios, inhibidores de cáncer, antialérgicos, edulcorantes, bioflavonoides (vitamina P) y antioxidantes (Lako *et al.*, 2007). Al igual que los flavonoides, los carotenoides también poseen esta propiedad antioxidante.

Hongos comestibles. Los hongos comestibles son organismos heterótrofos, es decir, que requieren del material orgánico para subsistir. Poseen el doble del contenido de proteínas que los vegetales y disponen de nueve aminoácidos esenciales, contando además con leucina y lisina (ausente en la mayoría de los cereales). Poseen alta cantidad de minerales y vitaminas (superando a la carne de muchos pescados). Completan la caracterización sus bajas calorías y carbohidratos (Portal Bioceánico, 2008).

Fibra dietaria (alimento para animales y humanos). Constituyente que da firmeza y textura fuerte a las estructuras externas de las frutas. Posee efectos preventivos contra determinadas enfermedades cardiovasculares y ayuda a mejorar la función gastrointestinal. La fibra dietaria obtenida principalmente de las cortezas de las frutas, consta de polisacáridos estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectinas, rafinosa y estafinosa), polisacáridos no estructurales (gomas y mucilagos), sustancias estructurales no polisacáridas (lignina) y de otras sustancias como cutina, taninos y suberina (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Obtención de combustibles. El biogás es el producto gaseoso que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica mediante acción bacteriana o de su combustión en condiciones anaeróbicas y por esto es considerado como un subproducto del compostaje y de la pirólisis. El biogás está compuesto principalmente por metano (50-60 %), dióxido de carbono (35-45 %) y trazas de hidrógeno y nitrógeno (Peters, 2003). Es incoloro, inodoro e insípido, por lo que es difícil detectarlo. Se usa para la producción de la energía eléctrica, térmica y como biocarburante (Abraham, Ramachandran y Ramalingam, 2007). Para la generación de biogás hay dos variables de principal

interés, la temperatura y el tiempo. La temperatura de proceso debe estar entre 30 y 40 ° C y el tiempo para alcanzar la producción adecuada de metano depende de la temperatura y de la materia orgánica empleada para tal fin (Intermediate Technology Development Group (ITDG), 2005a). Otro uso importante del biogás es la obtención de hidrógeno. Este proceso consiste en una descomposición térmica catalítica del metano contenido en el biogás. Finalmente, el flujo gaseoso obtenido debe ser limpiado para conseguir un producto con bajo contenido de CO lo que lo hace adecuado para usarse como combustible, así como en la síntesis de amoníaco, metanol, en refinerías, entre otros (Echevarría, 2002). Para la obtención de otro combustible como el metanol, se requiere que el material biomásico usado tenga una humedad inferior al 60 %, ya que los residuos con una humedad alta tienen un bajo poder calorífico (ITDG, 2005 a).

Valorización térmica. Desde el punto de vista físico y químico, los procesos de conversión energéticos se basan en la degradación de las moléculas orgánicas por la acción del calor (Eliás, 2003). Las tecnologías que procesan térmicamente los residuos buscan la reducción de su volumen y la recuperación de energía a partir de los gases, líquidos y sólidos que se generan. Estos procesos térmicos pueden clasificarse según los requerimientos de oxígeno. Los que requieren de oxígeno se conocen como calderas o incineradores. Los que no, se conocen como pirólisis y termólisis (Castaño y Londoño, 2002).

Incineración. Esta alternativa es llamada usualmente como la "solución final" al problema de los residuos sólidos. La combustión crea gases calientes que por una transferencia de calor por convección transforman el agua contenida en los tubos en vapor de agua. Este vapor puede ser usado para generar energía (Abraham *et al.*, 2007; Vijayaraghavan, Ahmad y Soning, 2007). Durante este proceso se generan ciertas sustancias tóxicas conocidas como dioxinas y furanos. Las dioxinas y furanos (policloro-dibenzo-p-dioxinas, PCDDs y policloro-dibenzofuranos, PCDFs), son compuestos organoclorados con características químicas similares que se caracterizan por su persistencia en el ambiente y su baja biodegradabilidad. (Aristizábal, González y Montes, 2003). No se recomienda la incineración sin aprovechamiento energético, ya que se produce CO₂ que contribuye al efecto invernadero y calentamiento global.

Pirólisis. La pirólisis consiste en la descomposición de la materia orgánica por calentamiento hasta llegar a la degradación de las sustancias carbonosas, entre 400 y 800°C, en total ausencia de oxígeno y presión controlada. Este método puede reducir el volumen de los residuos hasta en un 95%. La pirólisis teórica de una molécula de celulosa genera CO, H₂ y C; además de metano, dióxido de carbono y vapor de agua, entre otros, que originan serios problemas de índole ambiental (Elias, 2003). Cuando un residuo es pirolizado se obtiene una mezcla de gas, líquido y sólido según el tipo de residuo y la tecnología usada que permita un mayor grado de utilización.

METODOLOGÍA

Para conocer la problemática de los residuos de frutas generados en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, se consultó el número de empresas pertenecientes a la industria de alimentos, la cantidad de residuos que generaban y su disposición final. Se contactaron las empresas registradas en la Cámara de Comercio de Medellín, se realizaron visitas y encuestas a las empresas que lo permitieron y se realizaron análisis fisicoquímicos a los residuos que éstas generaban. Se realizaron análisis de materia seca y humedad mediante termogravimetría por secado a 105°C (norma ISO-

6496), almidón por polarimetría, extracto etéreo mediante extracción Soxhlet con inmersión (Norma Técnica Colombiana, NTC-668), fibra cruda según Weende, proteína según Kjeldahl (NTC-4657) y azúcares totales mediante espectrofotometría UV. Los análisis fueron realizados por el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Con base en estos análisis, se procedió a proponer las alternativas de valorización de estos residuos.

RESULTADOS

En el sur del Valle del Aburrá (Caldas, Itagüí, Envigado, La Estrella y Sabaneta) se encontraron 113 empresas registradas y en Medellín 73, para un total de 186 en estos municipios (Cámara de Comercio de Medellín, 2004). Las empresas pertenecían a los sectores de elaboración de jugos de frutas, frutas deshidratadas, mermelada, pulpas de frutas, helados a base de frutas y empresas procesadoras de frutas. Durante el año 2006 las empresas registradas aumentaron a 277 (Cámara de Comercio de Medellín, 2006). Se contactaron en total 40 empresas, de las cuales sólo el 30 % suministró la información completa. En la Tabla 1 se relaciona el tipo y la cantidad de residuo que genera cada empresa y en la Tabla 2 su disposición final.

Tabla 1. Relación de los residuos generados por las empresas agroindustriales en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia

Empresa	Fruta	Cantidad total de residuos (kg/día)
1	Guayaba, piña	3,3
2	Tomate de árbol, mango, papaya, sandía, durazno, pera, uchuva, melón, manzana, guayaba	1000
3	Maracuyá, mango, piña, guayaba	8000
4	Naranja, guayaba	1233
5	Mango, lulo, guanábana, guayaba, curuba, papaya, piña, tomate de árbol, mandarina	2000
6	Guayaba	1200
7	Guanábana, mango, maracuyá, guayaba, tomate de árbol, piña	133
8	Guayaba, limón, papaya, piña, sandía	150
9	Maracuyá, naranja, mandarina, mango, lulo, guanábana, curuba, tomate de árbol	133
10	Varios	200
11	Guanábana, mango, lulo, maracuyá, tomate de árbol, piña, uva, curuba	27
12	Guanábana, mango, maracuyá, tomate de árbol, piña, mandarina, lulo	90

Según datos suministrados por Inter Aseo S.A., E.S.P el total de residuos de frutas del sector agroindustrial que esta "empresa recoge" es de 27 ton/día en el Sur del Valle del Aburrá y 136 ton/día en Medellín, es decir, 163 ton/día. Además, en el año 2002 sólo en Medellín existían aproximadamente 212 ton/día de residuos de frutas que recogía Empresas Varias de Medellín (Cardona, 2002). La disposición actual de estos residuos para las empresas representa un costo

económico que varía según el municipio donde se encuentren ubicadas. En la Tabla 3 se presenta el costo de disposición en el que incurriría cada una de las empresas si todos sus residuos fueran llevados a relleno sanitario. La Tabla 4 presenta los análisis físico-químicos realizados a los cuatro principales tipos de residuos generados: mango (cáscara y semilla), guanábana (cáscara, pulpa y semilla), guayaba (cáscara y semilla) y naranja (cáscara, semilla y bagazo).

Tabla 2. Disposición actual de los residuos en las empresas agroindustriales de Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia.

Disposición actual	Empresa
Alimento para cerdos y lombricultura	8
Compostaje	2 y 5
Concentrado para animales	4
Relleno sanitario	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 y 12

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede verse en la Tabla 3 el costo de disposición de estos residuos para algunas empresas es relativamente alto, por lo que se hace necesario proponer diferentes alternativas de uso para estos residuos y así disminuir estos gastos. Para lo anterior se tuvo en cuenta la

cantidad y el tipo de residuos producidos por cada empresa y las características físico-químicas de los residuos presentadas en los resultados. Con el fin de presentar claramente las diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos, se realizará una clasificación dependiendo de la manera en que las empresas disponen de sus residuos.

Tabla 3. Costo mensual de la disposición de residuos en las empresas agroindustriales de Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia.

Empresa	Costo disposición actual (\$/mes)
1	6.390
2	1.615.276
3	11.732.533
4	2.387.479
5	3.344.407
6	2.006.644
7	257.530
8	231.807
9	257.530
10	387.263
11	52.280
12	174.269

Tabla 4. Caracterización físico-química de los residuos de frutas producidos en las empresas agroindustriales de Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia.

Propiedad	Residuo	Naranja	Guayaba	Guanábana	Mango
Humedad		55,20	89,80	77,40	69,00
Almidón		0	0	0	0
Extracto etéreo		0,31	0,25	0,48	0,48
Fibra cruda		4,29	3,77	6,17	9,49
Proteína		1,81	0,62	1,90	0,86
Azúcares totales		5,07	1,23	4,43	5,77
Otros compuestos		33,32	4,33	9,61	14,39

Análisis realizados en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Compostaje, lombricultura y valorización

térmica. Para las empresas que no hacen una separación adecuada de los residuos, es decir, que disponen de todos los residuos de frutas en un mismo contenedor, se recomienda que las técnicas de recuperación sean el compostaje y por ende la lombricultura, la producción de hongos comestibles, obtención de biogás, y a partir de la purificación de éste, la producción de hidrógeno y síntesis de metanol. Debe tenerse en cuenta que para poder generar el compost, el material orgánico debe estar reunido en una pila y debe existir un balance entre el carbono y el nitrógeno para así asegurar la existencia de los microorganismos. Para el caso de la lombricultura se debe tener especial cuidado con el control de la temperatura de la pila, ya que si la temperatura es inferior o superior al intervalo propuesto, las lombrices se inactivan interrumpiendo así el desarrollo adecuado para la obtención del abono. Es de interés general conocer las ventajas que trae aplicar esta técnica de valorización, entre las que se encuentra el incremento en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre en el suelo, inactivación de los residuos de plaguicidas (esto debido a su capacidad de absorción), mejoramiento de la permeabilidad y reducción de la erosión del suelo (Legall, Dicovski y Valenzuela, 2008).

Pueden considerarse de igual forma las técnicas contempladas en la valorización térmica, siendo la incineración la última opción para el aprovechamiento de estos residuos. Con la incineración se logra reducir el volumen de los residuos hasta en un 20 ó 30 % de su volumen original (Restrepo y Uribe, 1994), aunque Medina (1997) realiza una estimación más optimista de esta

reducción entre un 60 y 70%. Los residuos de frutas, debido a su alta humedad, tienen un bajo poder calorífico y es muy poca la generación de energía que se puede aprovechar; por ejemplo, las cortezas de cítricos, en una escala de 1 a 10 tienen un poder calorífico de 2 (Elias, 2003). Además, en algunas investigaciones realizadas por Aristizabal, González y Montes (2002) se concluyó que hay emisiones de algunos gases nocivos como: HCl, HF, CO, CO₂, NOx y otros hidrocarburos aromáticos halogenados entre los cuales se destacan las dioxinas y furanos. Los efectos nocivos de estos hidrocarburos aromáticos sobre humanos aún no se conocen. Sin embargo, se sabe que en animales pueden ocasionar cáncer y mutaciones (Mukerjee, 1998).

Entre las técnicas de valorización "masiva", la que ha ganado mayor popularidad como método de manejo de residuos sólidos ha sido el compostaje, que además de estabilizar los materiales orgánicos, los desvía de basureros y rellenos sanitarios. Y aunque el compost es la técnica más utilizada por las industrias procesadoras de frutas se ve la necesidad de implementar otras técnicas que permitan solucionar esta problemática, como las que se citan a continuación.

Hongos comestibles. Una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos agroindustriales es la producción de hongos comestibles, ya que el consumo de ellos se ha incrementado notablemente en Colombia. Tal es el caso de lo que ocurre en Cali y Neiva, donde se cuenta con varios cultivos de hongos comestibles con una producción mensual entre 2 y 3 toneladas. (Asofungicol, 2005). Para el cultivo adecuado de estos hongos, es esencial el alto contenido de humedad del sustrato y su bajo

contenido de nitrógeno. Dependiendo del tipo de materia orgánica que se use, puede cultivarse uno de los siguientes organismos: hongo *Agaricus* (conocido comercialmente como champiñón), el hongo *Shitakee*, el hongo de la paja o *Volvariella* y el hongo *Pleurotus ostreatus*, conocido como Orellanas (Agencia Universitaria de Periodismo Científico y Cultural (AUPEC), 2008). Para el cultivo de los hongos es necesario someter los residuos a un proceso de fermentación, en el que se busca degradar en tal forma los materiales para que sean mejor aprovechados por los hongos. Luego se procede a un proceso de pasteurización donde se elimina parte de la carga microbiana que éste posee y que puede dañar el cultivo (Elisashvili *et al.*, 2008).

Obtención de productos químicos. Para las empresas que realizan una separación adecuada de sus residuos, además de las técnicas mencionadas anteriormente, existen otras aplicaciones más específicas que dependen de cada fruta y de cada uno de sus residuos, como es el caso de la extracción de pectinas, enzimas, aceites esenciales, flavonoides y carotenoides, producción de vino y fibra dietaria.

La obtención de la pectina se puede realizar a partir de cáscaras de frutas como guayaba, maracuyá y cítricos. La extracción debe hacerse en dos fases bien diferenciadas: primero, se solubilizan las materias pécticas insolubles en agua y luego se disocian las materias pécticas que se han hecho solubles. Existen numerosos procesos patentados para obtener las pectinas y en cada uno de ellos se obtienen productos de diferente calidad (Devia, 2003). Isaza, Perilla y Correa (1996) caracterizaron y determinaron que de la cáscara de papaya pintona se puede obtener una cantidad apreciable de pectina. Otra característica importante para la extracción de pectinas, además de su grado de maduración, es la adecuación de la materia prima. Por ejemplo, se obtiene mayor rendimiento y calidad de pectinas cuando se procesa la cáscara de guayaba partida en cuartos y la cáscara de maracuyá partida en trozos de aproximadamente 1/8 de su tamaño. Estas pectinas pueden ser utilizadas para elaborar mermeladas con trozos de frutas debido a su rápida gelificación (Giraldo y López, 1997). Otro caso de interés es la pectina que se obtiene a partir de los residuos cítricos. Cuando la extracción se realiza a la materia prima constituida

por flavedo y albedo, las pectinas obtenidas contienen aceites esenciales que confieren sabor amargo, además de impurezas y color blanco a los productos que con ellas se elaboran. Por tal razón, en los procesos industriales, los aceites esenciales se extraen mecánicamente, mediante el rallado del fruto o por arrastre con vapor (Estrada, 1998). Dentro de los numerosos usos que tienen las pectinas se pueden citar la elaboración de geles, conservas, compotas, mazapanes, emulsificación y estabilización de mayonesa y elaboración de helados y postres de leche. En la industria farmacéutica se utilizan en la preparación de penicilina, insulina, pomadas y ungüentos. En otras industrias encuentra aplicación en el templado del acero, recubrimiento de láminas de aluminio, emulgente para diversos aceites, papel celofán y cintas de adorno (Estrada, 1998).

Las enzimas no sólo pueden extraerse de la fruta sino que también puede hacerse a partir de sus residuos. Comercialmente la extracción de enzimas está centrada en frutas como la papaya (papaina) y la piña (bromelina) utilizadas generalmente para precipitar la caseína, como inflamatorio, para curtir cuero, preparar cerveza, en tratamiento de la difteria, úlceras, eczemas y como analgésico. La papaina y la bromelina son enzimas proteolíticas (enzimas capaces de dividir a las proteínas en moléculas más simples) que se encuentran en estado natural en el látex de la papaya y en el tallo de la piña (Hernández *et al.*, 2003; Nitsawang, Hatti-Kaul y Kanasawud, 2006). Además, de la cáscara de naranja se ha logrado producir la pectinasa con *Aspergillus niger*, enzima usada para clarificar jugos y vinos (Medina y Moreno, 2003). La factibilidad económica de obtención de estas enzimas es muy baja, ya que aún a partir de la misma fruta, es un proceso largo y costoso (ITDG, 2005 b). Por tanto, en países en vía de desarrollo como Colombia no es clara la implementación de este tipo de tecnología, ya que es difícil competir contra los grandes productores y por eso se ve la necesidad de importarla.

Con respecto a la producción de aceites esenciales, éstos son muy demandados por su alto consumo, sobre todo en las mismas industrias de alimentos que buscan constantemente fuentes naturales de sustancias aromatizantes, para no recurrir a las síntesis de laboratorio. Estas sustancias pueden

extraerse de cáscara de cítricos y de semillas de frutas como mango, melocotón, uva, papaya, sandía y cítricos, para ser usados en culinaria o perfumería, en la fabricación de jabones y detergentes, pinturas, condimentos, helados, caucho, textiles y para reforzar el aroma de los zumos (ITDG, 2005 b). Su principal problema consiste en encontrar quien pueda comprar el producto, ya que se obtiene en pequeñas cantidades: por cada 100 g del residuo se puede obtener en promedio 1 ml de aceite (Ochoa, 1998). Por lo tanto, se recomienda vender la semilla limpia a las grandes procesadoras de aceite.

La extracción de flavonoides como la *hesperidina* se realiza a partir de la cáscara de cítricos (e.g. mandarina y naranja) siendo esta una técnica limitada para el resto de los residuos (Yi *et al.*, 2008). Actualmente, una parte de los trabajos de investigación va encaminada hacia el aprovechamiento de los carotenoides como pigmentos naturales para mejorar la coloración de los jugos simples y concentrados de naranja y mandarina (Xu *et al.*, 2008; Cháfer *et al.*, 2000)

Otras aplicaciones. Los residuos de maracuyá pueden utilizarse para producción de sustancias alimenticias animales y humanas debido a su alto valor de fibra dietaria total (66,9%). Los residuos de limón y naranja también pueden aprovecharse debido a su alto contenido de fibra dietaria soluble (33% y 35% respectivamente). La fibra también está presente en residuos de piña y mandarina (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Con las cáscaras de cualquiera de las frutas pueden elaborarse "cáscaras confitadas". Sólo se debe hervir la cáscara en un 20% de azúcar durante 15-20 minutos. Luego, se va aumentando progresivamente la cantidad de azúcar hasta alcanzar 65 - 70°Brix. Estas cáscaras se usan principalmente como pasabocas, en productos de panadería y repostería y como agregado para mermeladas (Kesterson y Braddock, 1976; Jacobsen, Mujica y Ortiz, 2003). Varias de las industrias encuestadas están implementando esta opción en la elaboración de sus mermeladas. Se pueden citar otras aplicaciones como la adición de cáscaras de frutas pulverizadas para mejorar la fijación de la pintura sobre el acero, y para aumentar la adhesión de los neumáticos (Méndez, 1995).

Para facilitar la decisión de qué técnica puede usarse, debe tenerse en cuenta la cantidad de residuos disponibles para tal fin, además de los tipos de residuos que produce cada empresa encuestada. En la Tabla 5 se muestra la cantidad mínima de residuos y las empresas con la que se cuenta para cada una de las alternativas de valorización, suponiendo que todos los residuos de las empresas fueran usados para tal fin. Teniendo en cuenta que estas empresas constituyen el 5 % de las empresas registradas en Medellín y el sur del Valle del Aburrá en el año 2006, las cantidades presentadas en la Tabla 5 podrían multiplicarse por 20 para obtener la capacidad de las plantas de valorización que operaran con todos los residuos generados en los municipios en cuestión.

Tabla 5. Cantidad mínima de residuos disponibles en las empresas agroindustriales de Medellín y el sur del Valle de Aburrá (Colombia), para cada una de las alternativas de valorización.

Uso propuesto	Empresas	Cantidad (ton/mes)
Pectinas	Todas	80
Enzimas	1,2,3,5,7,8,11 y 12	9
Aceites esenciales	2,3,4,5,7,8,9,11 y 12	54
Flavonoides	4,8,9 y 12	66
Vino - vinagre	Todas	90
Fibra dietaria	1,2,3,4,5,7,9,11, y 12	64
Compostaje	Todas	375
Lombricultura	Todas	375
Hongos comestibles	Todas	375
Incineración	Todas	375
Pirólisis	Todas	375

CONCLUSIONES

La adecuada disposición final de los residuos agroindustriales en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, es apremiante, esto debido a la gran cantidad de residuos que se generan y a la manera como las empresas del sector disponen actualmente de ellos. Casi en su mayoría son llevados al relleno sanitario sin considerar la posibilidad de diferentes alternativas para aprovechar el valor económico que puede obtenerse de ellos. Los principales residuos generados en las empresas encuestadas provienen del procesamiento de naranja, guayaba, guanábana y mango y su disposición en rellenos sanitarios tiene un alto costo económico. Los gastos de su disposición y el impacto ambiental podrían reducirse si se implementan diferentes técnicas de valorización. Actualmente, las técnicas más empleadas por las empresas para la recuperación de sus residuos son el compostaje y la lombricultura con miras siempre en que sean rentables económicamente. Es apropiado pensar en el aprovechamiento total de cada una de estas técnicas en el momento de emplearlas, como es el caso del compostaje en el que se podría "capturar" el gas producido (metano) para la generación de energía. Los residuos generados por las empresas procesadoras de frutas no son adecuados para el tratamiento térmico, debido a su alto contenido de humedad y al bajo poder calorífico del que se habló anteriormente. Sólo con las empresas encuestadas podrían montarse plantas de valorización de residuos con capacidades de procesamiento de 9 a 375 ton/mes, dependiendo del proceso. Si se utilizaran todos los residuos generados en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá, estas capacidades podrían multiplicarse por 20.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E. R., S. Ramachandran and V. Ramalingam. 2007. Biogas: Can it be an important source of energy?. *Env. Sci. Pollut. Res.* 14 (1): 67-71.
- Aristizábal, B., J. González y C. Montes. 2003. Retos en la aplicabilidad de la norma colombiana sobre el control de dioxinas y furanos en incineradores. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.* Medellín. 28:17-27.
- Asofungicol. 2005. Orellanas. En: <http://www.ccneiva.org/promocion/orellanas.htm>. Consulta: Abril 2006.
- Agencia Universitaria de Periodismo Científico y Cultural - AUPEC. 2008. Hongos: riqueza de la naturaleza poco explotada. En: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/abril97/boletin34/hongos.html>. Consulta: Febrero 2008.
- Cámara de Comercio de Medellín. Servicios corporativos: establecimientos por actividad. 2004. En: <http://www.camaramed.org.co/servicioscorporativos/inteligencia/establecimientosporactividadeconomica2004.xls>. Consulta: Abril 2005.
- Cámara de Comercio de Medellín. Informe Empresarial. 2006. En: <http://www.camaramed.org.co/Documentos/docs/informaempresarial2007/4.1medellin.pdf>. Consulta: Febrero 2008.
- Cardona, J. 2002. 2500 toneladas diarias de basura buscan acomodarse. *Rev. Amb. El Reto.* 42:20-27.
- Castaño, A y D. Londoño. 2002. Sinergia de subproductos industriales en el municipio de Itagüí. Trabajo de grado. Ingenieros de Producción. Escuela de Ingeniería. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. 70 p.
- Cháfer, M.T., P. Fito, M.D. Ortolá y A. Chiralt. 2000. Aprovechamiento de la corteza de cítricos mediante deshidratación osmótica con pulso de vacío. *Aliment. Equipos Technol.* 19 (9): 55-60.
- Devia, J. 2003. Proceso para producir pectinas cítricas. *Rev. Univ. EAFIT. Medellín.* 39(29):21-29.
- Echevarría, M. 2002. Producción de hidrógeno a partir de la descomposición térmica catalítica del biogás de digestión anaerobia. *Rev. Téc. Residuos.* 12(68):94-98
- Elias, X. 2003. Uso de combustibles alternativos. *Tecnologías aplicables. Rev. Téc. Residuos.* 13(71):68-82
- Elisashvili, V., M. Penninckx, E. Kachlishvili, N. Tsiklauri, E. Metreveli, T. Kharziani and G. Kvesitadze. 2008. *Lentinus edodes* and *Pleurotus* species lignocellulolytic enzymes activity in submerged and solid-state fermentation of lignocellulosic wastes of different composition. *Bioresour. Technol.* 99(3): 457-462
- Estrada, A. 1998. Pectinas cítricas. Efecto del arrastre de vapor en la extracción y diferentes métodos de secado. *Rev. NOOS* 7:23-34.
- Fennema, O. 1993. Química de los alimentos. Acribia, Zaragoza, España. 1092 p.
- Giraldo, G. y O. López 1997. Extracción y aplicación de las pectinas de guayaba dulce, tomate de árbol y cáscara de maracujá. *Rev. NOOS* 3:17-23.

- Gutiérrez, E., G. Medina, M. Orfilia, O. Florez y O.L. Martínez. 2002. Obtención y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *Rev. Vitae* 9(1):5-14.
- Hernández, M., M.A. Chávez, R. Báez, C. Carvajal, M. Márquez, H. Morris, R. Santos, J.L. González, V. Quesada y C. Rodríguez. 2003. Nueva tecnología para la obtención de un preparado de bromelina de tallo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr). *Biotechnol. Apl.* 20(3):180 –182.
- Intermediate Technology Development Group. ITDG. 2008 a. Biogas and liquid biofuels. The Shumacher Centre for Technology and Development. England. En: http://www.itdg.org/docs/technicalinformation_service/fruit_wasteutilisation.pdf. Consulta: Febrero 2008.
- Intermediate Technology Development Group. ITDG. 2008 b. Fruit waste utilisation. The Shumacher Centre for Technology and Development, England. En: <http://www.itdg.org/docs/technicalinformationservice/fruitwasteutilisation.pdf>. Consulta: Febrero 2008.
- Isaza, J., M. Perilla y Y. Correa. 1996. Determinación de pectina metoxilada en 10 frutas colombianas de uso común. *Rev. Sci. Tecn. Pereira* (3):1-5.
- Jacobsen, S.E., A. Mujica y R. Ortiz. 2003. La Importancia de los cultivos andinos. *Fermentum* 13(36):14–24.
- Kesterson, J.W and R.J. Braddock. 1976. By-products and speciality products of Florida citrus. Chemist and Associate Food Scientist. Agricultural Research and Education Center, Florida. University of Florida. 119 p.
- Lako, J., V.C. Trenerry, M. Wahlqvist, N. Wattanapenpaiboon, S. Sotheeswaran and R. Premier. 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chem.* 101(4):1727–1741.
- Legall, J.R., L.E. Dicovalsky y Z.I. Valenzuela. 2008. Manual básico de lombricultura para condiciones tropicales. Escuela de Agricultura y Ganadería de Estela "Francisco Luis Espinoza". Nicaragua. En: <http://usuarios.rnet.com.ar/mmorra/libro2.htm>. Consulta: Enero 2008.
- Medina, M. 1997. Manejo de desechos sólidos y desarrollo sustentable. *Rev. Antioq. Econ. Desarro.* 54:70-80.
- Medina, O. y L. Moreno. 2003. Pulpa de remolacha y cáscara de naranja como fuentes de carbono en la producción de pectinasas. *Cienc. Desarro. Tunja* 1(1):50-59.
- Méndez, R. 1995. Aprovechamiento de subproductos agropecuarios. Unisur, Santafé de Bogotá. 336 p.
- Mukerjee, D. 1998. Health impact of polychlorinated dibenzo-p-dioxins. A critical review. *J. Air. Waste Manag. Assoc.* 48(2):157-165.
- Nitsawang, S., R. Hatti-Kaul and P. Kanasawud. 2006. Purification of papain from *Carica papaya* latex: Aqueous two-phase extraction versus two-step salt precipitation. *Enzyme Microb. Technol.* 39(5):1103–1107
- Ochoa, A. 1998. Aceites esenciales. El aroma de la naturaleza. Agencia AUPEC, Universidad del Valle. Cali. En: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/julio98/aceites.html>. Consulta: Febrero 2008.
- Peters, T. 2003. Optimización del aprovechamiento energético de biogás de vertederos. *Rev. Téc. Residuos* 13 (70): 34-37.
- Portal Bioceánico. 2008. Producción y comercialización de setas y hongos comestibles V. Guía No. 5: Hongos y setas. En: <http://www.portalbioceanico.com/nuevasactividadeshongosysetas.htm>. Consulta: Febrero 2008.
- Restrepo, E. y A. Uribe. 1994. Diseño de un sistema de transformación de materia orgánica para acelerar el proceso de compost. Trabajo de grado. Ingenieros Mecánicos. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 80 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca - SAGARPA. 2008. Lombricultura y alimentación. Texcoco, Estado de México. México. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/fichas/listafichas/T-6-01.pdf>. Consulta: Febrero 2008.
- Tsai, W.T. 2008. Management considerations and environmental benefit analysis for turning food garbage into agricultural resources. *Bioresour Technol.* Jan 4 [Epub ahead of print]
- Vijayaraghavan, K, D. Ahmad and Ch. Soning. 2007. Biohydrogen generation from mixed fruit peel waste using anaerobic contact filter. *Intl. J. Hydrogen En.* 32:4754–4760.
- Xu, G., D. Liu, J. Chen, X. Ye, Y. Ma and J. Shi. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chem.* 106(2):545–551.
- Yi, Z., Y. Yu, Y. Liang and B. Zeng. 2008. *In vitro* antioxidant and antimicrobial activities of the extract of *Pericarpium Citri Reticulatae* of a new citrus cultivar and its main flavonoids. *LWT Food Sci. Tech.* 41(3):597–603.