

Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia

Exploitation of agroindustrial waste in Colombia

Exploração de resíduos agroindustriais na Colômbia

Laura Victoria Peñaranda Gonzalez¹, Sandra Patricia Montenegro Gómez² & Paula Andrea Giraldo Abad³

¹Bióloga, Magister en Ecología Molecular y Biotecnología; ²Licenciada en Biología y Química, Especialista en manejo y conservación de suelos y aguas, Magister en Ciencias Agrarias, énfasis Suelos, Doctora en Ciencias área de concentración Microbiología Agrícola; ³Ingeniera de Alimentos, Magister en Química énfasis Química Analítica e Instrumental.

¹Grupo de Investigación en Ciencias Agropecuarias –Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Centro Atención Sector Agropecuario Regional Risaralda. Pereira, Risaralda. ²Centro de Investigación de Agricultura y Biotecnología-CIAB. Dosquebradas. Dosquebradas, Risaralda, Colombia. ³Grupo de Investigación en Ciencias Agropecuarias –Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Centro Atención Sector Agropecuario Regional Risaralda. Pereira, Risaralda, Colombia.

¹lvpenaranda9@misena.edu.co, ²sandra.montenegro@unad.edu.co, ³paulagiraldo@gmail.com,

Resumen

En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación proyectó para el 2018, el 20% en aprovechamiento de residuos que van a los rellenos e incentivar el reciclaje, sin embargo no ha logrado superar el 17%, por lo tanto es prioritario incluir mecanismos de articulación del componente productivo y de investigación científica y tecnológica. En este artículo se relacionan importantes fuentes de residuos agroindustriales en Colombia, presentando algunas alternativas de subproductos en las que se aprovechan sus características y propiedades para obtener materiales que pueden ser utilizados en otros procesos como la industria de la construcción, biocombustibles, productos farmacéuticos, cosméticos y nutricionales; es el caso del glicerol, residuos de papa y café tanto de cultivo como procesados, arroz y caña de azúcar en el grupo de las gramíneas, y residuos de frutas y verduras. Se concluye que Colombia debe implementar el desarrollo de diversos procesos y/o productos que sean competitivos y cumplan con las respectivas normas de calidad para incursionar en los mercados del mundo.

Palabras clave: residuos agroindustriales, impacto ambiental, aprovechamiento, valor agregado

Abstract

In Colombia, the National Planning Department projected for the 2018, 20% in the use of wastes that go to landfills and encourage recycling, however has failed to exceed 17%, therefore it is a priority to include mechanisms of articulation of production and scientific and technological research component. In this article, important sources of agro-industrial waste are related in Colombia, presenting some alternatives of by-products in which they take advantage of their characteristics and properties to obtain materials that can be used in other Processes such as the construction industry, biofuels, pharmaceuticals, cosmetics and nutritional products; This is the case of glycerol, potato and coffee residues of both cultivation and processing, rice and sugarcane in the group of grasses and residues of fruits and vegetables. It is concluded that Colombia must implement the development of various processes and/or products that are

competitive and comply with the respective quality standards to enter the world's markets.

Key-words: agro-industrial waste, environmental impact, use, added value

Resumo

Na Colômbia, o Departamento de Planejamento Nacional projetou 20% no uso de resíduos que vão para os aterros sanitários e incentivam a reciclagem, mas não conseguiu exceder 17%, por isso é uma prioridade incluir componente produtivo e pesquisa científica e tecnológica. Este artigo lista fontes importantes de resíduos agroindustriais na Colômbia, apresentando algumas alternativas de subproduto

nas quais suas características e propriedades são usadas para obter materiais que podem ser usados em outros processos, como indústria de construção, biocombustíveis, produtos farmacêuticos, cosméticos e nutricional; é o caso dos resíduos de glicerol, batata e café, ambos cultivados e processados, arroz e cana-de-açúcar no grupo de gramíneas e resíduos de frutas e vegetais. Conclui-se que a Colômbia deve implementar o desenvolvimento de vários processos e / ou produtos que são competitivos e que cumprem os respectivos padrões de qualidade para entrar nos mercados mundiais.

Palavras chave: resíduos agroindustriais, impacto ambiental, exploração, valor agregado

Introducción

La agroindustria, se puede definir como la actividad económica que combina la producción agrícola con la industrial para desarrollar productos alimenticios o materias primas que son destinadas a la producción (González, 2013). Actualmente, la agroindustria es reconocida no solo por su producción e impacto económico mundial, sino también por los procesos que se implementan para disminuir el impacto ambiental que generan sus residuos; por tanto, su permanencia y oportunidades en el mercado no dependen solamente de reglamentaciones sujetas a sanciones sino también de su relación con el medio ambiente. Dentro de esta relación medioambiental, la agroindustria debe considerar que durante los procesos previos a la producción, manejo, procesamiento y comercialización, se generan subproductos o residuos que conllevan serios problemas asociados a su disposición final (Cury *et al.*, 2017).

Se estima que a nivel mundial se desecha hasta una tercera parte de los alimentos para el consumo humano, generándose residuos desde el cultivo de la materia prima hasta su comercialización. En los últimos años, ha aumentado el interés en el aprovechamiento de residuos en diferentes ámbitos debido al bajo costo, a su alta disponibilidad, y a la necesidad de reducir

el impacto ambiental causado. En este sentido, se han realizado estudios enfocados al desarrollo de nuevas tecnologías que utilicen los residuos o subproductos generados para la producción de materias o sustancias con un valor agregado; y considerando la diversidad de residuos generados, hay una gran variedad en cuanto a su composición y a la tecnología o método de aprovechamiento que se puede emplear (Casas & Sandoval, 2014; Cabrera, 2016).

La generación de residuos depende principalmente de la posición en la que se encuentra cada país con respecto al ingreso promedio, al producto interno bruto y al consumo de la población, ya que estos influyen en la cantidad y al tipo de consumo. En países como Colombia, Ecuador, Paraguay, India, México y Panamá, se generan residuos principalmente de la actividad agrícola, debido a una alta actividad económica en torno a este sector. En el caso de Colombia, en procesamiento de productos como: café, palma de aceite, caña de azúcar y panelera, maíz, arroz, banana y plátano se obtiene una producción de 14.974.807 t/año y se producen alrededor de 71.943.813 t/año de residuos que en la gran mayoría de los casos son incinerados o llevados a rellenos sanitarios (Escalante *et al.*, 2010; Corpoerma, 2012; Chávez, 2016).

En este documento se relacionan importantes fuentes de residuos agroindustriales en Colombia y el manejo que se les ha dado, presentando alternativas en las que se aprovechan las características y propiedades de los residuos para obtener materiales que pueden ser utilizados en otros procesos. Las estrategias planteadas ofrecen un panorama amplio para reducir el impacto ambiental que el sector agroindustrial genera por la naturaleza de su actividad.

Aprovechamiento de residuos agroindustriales

El desarrollo industrial conlleva al incremento en generación de residuos los cuales se han convertido en una problemática tanto ambiental como económica para las empresas ya que éstas se deben responsabilizar de los altos costos que genera su disposición final (Yepes *et al.*, 2008). Actualmente, la industria busca nuevos procesos de producción que sean más eficientes y que generen bajo impacto en el medio ambiente. Dentro de estos nuevos procesos se ha encontrado la necesidad de disminuir la explotación de los recursos naturales aprovechando los residuos generados en la industria (Salamanca, 2012). Del mismo modo, el aprovechamiento de estos residuos o subproductos, no solo contribuye a disminuir la explotación de recursos sino también la contaminación y degradación del ecosistema, evitando una disposición final inadecuada como es el caso de las quemaduras, el uso en rellenos sanitarios o el vertimiento a fuentes hídricas (Motato *et al.*, 2006).

Las centrales de abasto en Colombia y la agroindustria alimentaria, en la etapa de procesamiento además de permitir la obtención del producto requerido, generan una gran cantidad de subproductos o residuos que presentan un impacto relevante en el ambiente por su alto contenido de materia orgánica (González, 2013). Colombia por su gran biodiversidad cuenta con un importante potencial para generar productos con valor agregado que permitan registrar nuevos ingresos y alcanzar desarrollos biotecnológicos significativos para el país (Melgarejo; 2003; Castro, 2014). Por esto, se han realizado diversas investigaciones a nivel nacional con base en el aprovechamiento y la recuperación de los residuos agroindustriales. Estos residuos, dependiendo de su procedencia y de su composición pueden ser

reutilizados para generar productos para el consumo humano y animal, producción de energías renovables, obtención de biocombustibles y algunos productos químicos, así como recuperadores de la tierra o abonos (Yepes *et al.*, 2008). A continuación se relacionan algunas importantes fuentes de residuos agroindustriales en Colombia, presentando alternativas de subproductos en las que se aprovechan sus características y propiedades para obtener materiales que pueden ser utilizados en diversos procesos.

Glicerol: En la industria del biodiesel como alternativa energética, las grasas animales o aceites vegetales sufren un proceso químico conocido como transesterificación que permite la obtención de ésteres metilados y glicerol, estos últimos constituye el 10% de producto secundario en relación a la materia prima. El glicerol obtenido presenta inconvenientes para su empleo debido no solo a la elevada producción, considerando una generación aproximada de 70 millones de galones anuales (Mayorga & Mejía, 2012); sino también a su grado de pureza y calidad, lo cual limita su utilización en ciertas aplicaciones relacionadas con alimentos y fármacos (Hernández *et al.*, 2014). Existe cierta inclinación a usar este subproducto en la generación de bioenergía, como en el caso del hidrógeno, biogás, bioetanol, entre otras (Hernández *et al.*, 2015). En la generación de Bioetanol, se ha encontrado que la glicerina es una alternativa viable en contraste con el maíz y la caña de azúcar, porque este requiere menores costos en su procesamiento, genera menores emisiones de gases invernadero en su producción y contiene baja toxicidad al emplear levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (Hernández *et al.*, 2014; Valencia & Cardona, 2013; Hernández *et al.*, 2015).

Se ha estudiado también la posibilidad de transformar el glicerol en 1,3-propanodiol (1,3-PD), sustancia de múltiples aplicaciones industriales tales como la elaboración de desinfectantes, resinas, limpiadores, cosméticos, películas, adhesivos, detergentes y principalmente en la producción de polímeros por ruta de policondensación como en el caso de poliésteres, poliéteres, polietilenos y poliuretanos, donde se destaca el tereftalato de polimetileno

PTT con propiedades de biodegradación, estabilidad en luz U.V, entre otras. Para su obtención se han estudiado cepas como: *Klebsiella pneumoniae*, *Critrobacter freudii* se alcanza concentración no mayores de 19 g/L de 1,3-PD, *Clostridium spp* en medio no continuo se tiene rendimiento de 68 % y por encima del 23 g/L de 1,3-PD, *Lactobacillus diolivorans* alimentada con B12, glucosa y glicerol se obtiene 84,5 g/L en 1,3-PD), entre otros. No obstante, en medios específicos se recomienda explorar más la eficiencia de las variables como la constitución y concentración de materias primas, sustratos, rapidez de reacción y precio de operación (Mayorga & Mejía, 2012; Hernández *et al.*, 2015).

Siguiendo la línea de los biopolímeros, otra alternativa es la producción de polihidroxibutirato PHB, termoplástico apto para sustituir plásticos sintéticos derivados del petróleo, debido a sus capacidad biocompatible, no tóxica y biodegradable. El glicerol por su alta producción industrial (51.600 t/año) representa un sustrato económico y de gran disposición que en el futuro proporcionaría una disminución considerable en el costo energético y de factibilidad técnica en la obtención de plásticos (Naranjo, 2010).

Un método de extracción del termoplástico consiste en la preparación de la materia prima, fermentación con *Bacillum megaterium* la cual presenta rendimientos similares a la glucosa, fermentación entre 30 y 40 horas, seguido de la liberación del PHB por vía digestiva y purificación con lavado y destilación (Naranjo, 2010; Valencia & Cardona, 2013). En última instancia, el glicerol crudo puede emplearse como componente de fertilizantes nitrogenados que a partir de la glicerina promueven la actividad microbológica y se minimiza la pérdida de nitrógeno en forma de NO_2 y lixiviación de los nitratos a corrientes subterráneas. Dicha alternativa representa una ruta de interés tanto ambiental como económico debido a su bajo costo de producción. Sin embargo, las formulaciones presentes tienen ciertas limitaciones debido a la confidencia de las manufactureras y los derechos reservados de las patentes (Hernández *et al.*, 2015) y su aplicación en el campo industrial es aun novedoso y objeto de investigación.

Residuos vegetales de cosecha y procesados **Residuos de papa en la obtención de hojuelas**

fritas: En el proceso de industrialización de la papa para la obtención de hojuelas fritas, es común encontrar residuos sólidos y líquidos sin el tratamiento adecuado para su disposición final o aprovechamiento de componentes de interés. Es el caso del almidón remanente, el cual se encuentra en porcentajes entre el 15,56 - 17,76 % y puede ser extraído para la obtención de harina a partir de un tratamiento térmico con altas y bajas temperaturas coadyuvadas con sosa cáustica que permiten el aglomeramiento del almidón, el cual posteriormente será secado en horno y sometido a molienda. Tanto de la papa cruda como de la papa cocida, es posible obtener dos tipos de harina. La que se obtiene de la papa cocida presenta mayor facilidad de mezclado con cereales y es más digestible en productos de alimentación animal, particularmente en cerdos y gallinas (Prada, 2012).

Residuos de café: El café es considerado uno de los productos más importantes a nivel mundial, teniendo en cuenta que cerca de 80 países de Latinoamérica, Asia y África lo cultivan. Colombia, es el segundo productor mundial de café, siendo éste el cultivo nacional más relevante en el sector agrícola con un área sembrada de 948.000 ha (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2014). En la producción de café como bebida solo el 9,5% del peso del fruto es utilizado para su elaboración, quedando un 90,5% de residuos entre los que se destacan las hojas, ramas y tallos que se generan durante la renovación de los cafetales, frutos no adecuados para la producción de café, la pulpa del fruto que representa un 44% del peso del fruto seco y la borra que es el producto de la preparación de café a partir del café tostado y molido, representa el 10% del peso del fruto seco (Cury *et al.*, 2017; Rodríguez & Zambrano, 2010).

Se estima que para una producción de 942.327 t/año de café, se producen 2.008.192 t/año, 193.460 t/año y 2.849.596 t/año de residuos de pulpa, cisco y tallos respectivamente (Núñez, 2012), los cuales no son aprovechados en su totalidad. El Centro de Investigaciones de Café CENICAFÉ, ha realizado

estudios que permiten encontrar nuevos procesos y prácticas para el manejo de estos residuos. En dichas investigaciones, se propone como alternativa utilizar los residuos para la producción de biogás, biodiesel, bioetanol y como combustible directo. Estudios evidencian que los residuos generados por el café tienen una energía de 65.955 MJ; por lo tanto, la energía disponible por 1 ha/año es equivalente a la de 513 gal_{us} de gasolina -teniendo en cuenta que la gasolina tiene un poder calorífico de 34 MJ/L que equivalen a 128,69 gal_{us}-. En cuanto a la producción de etanol, se evidenció que a partir de la pulpa y el mucílago que se generan en 1 ha, se pueden obtener 102 L de etanol con una energía de 2.150 MJ equivalentes a 17 gal_{us} de gasolina (Rodríguez & Zambrano, 2010; García *et al.*, 2017).

Aunque la gran mayoría de los balances energéticos realizados en las investigaciones desarrolladas para cada subproducto del café, pulpa, mucílago, cisco, borra, tallo, rípios y café deteriorado, fueron negativos, debido a que la energía generada por éstos no es mayor a la de su producción, al tratarse de energía renovable presenta un elevado valor económico considerando la inestabilidad de los precios de los combustibles comunes (Rodríguez & Zambrano, 2010). Según una recopilación de información de la Secretaría de Agricultura del Meta y de la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2006, se encontró que los residuos generados de la industrialización del café particularmente la pulpa y el mucílago, pueden ser empleados para la producción de hongos comestibles, ensilaje y lombricultura (Núñez, 2012) ampliando de ésta forma el panorama para su aprovechamiento.

Residuos de cultivo de gramíneas

Arroz (*Oryza sativa*): Los residuos generados del procesamiento del arroz, constituyen un valor aproximado al 20% de su producción mundial. Se estima que se generan aproximadamente 700.000.000 t/año de residuos, convirtiéndose en uno de los residuos mayoritarios de la producción agrícola en países que producen arroz (Molina *et al.*, 2015). Debido a que la cantidad de subproductos del arroz es elevada e industrialmente son poco reutilizados, su aprovechamiento podría enfocarse en la obtención de etanol, la

sustitución del uso de carbón para la producción de energía en las plantas de procesamiento, en la adecuación del suelo y como sustrato para los cultivos, o como para la obtención de sílice como material suplementario de cemento, entre otros (Núñez, 2012; Salazar *et al.*, 2015; Caro *et al.*, 2016).

En estudios realizados en el departamento del Meta, se estimó que para una producción de 2.463.689 t/año de arroz se generan alrededor de 5.789.669 t/año de residuos de tamo de arroz y 492.738 t/año de cascarilla de arroz, los cuales pueden tener un potencial energético si son reutilizados de 20.699,41 tJ/año y 7.136,53 tJ/año respectivamente (Núñez, 2012). Por otra parte, en la Guajira, se han realizado investigaciones en las que se emplean los residuos del arroz como aditivos en la elaboración de bloques de concreto no estructural; lo que permite disminuir el alto consumo energético y emisiones de gases producto de su elaboración. Los bloques fueron sometidos a pruebas mecánicas de tensión y compresión, para determinar su calidad según los requerimientos de las normas NTC 4076 y ASTM C129 las cuales establecen los procedimientos para evaluar la calidad de los bloques elaborados. En los análisis realizados, se detectó que los bloques contruidos no cumplen con la norma NTC 4076; sin embargo, pueden ser empleados en construcciones livianas. Los bloques presentan un comportamiento aceptable en cuanto a resistencia, compresión y tensión a los 28 días de curado y los porcentajes adecuados para la elaboración son de 15%, siendo las cenizas de termoeléctricas el material más factible para ser usado como aditivo en la elaboración de bloques. En el caso de los bloques que contenían cascarilla de arroz, su mayor resistencia se obtuvo con un porcentaje del 10% y a los 28 días de curado; sin embargo, esta resistencia es menor en comparación con los bloques comerciales, razón por la cual no es factible elaborar bloques con adición de cascarilla de arroz (Molina *et al.*, 2015).

Caña de azúcar y caña panelera (*Saccharum officinarum*): La industria azucarera es una de las más representativas en Colombia con 15 ingenios ubicados en el Valle geográfico del río Cauca, los cuales siembran alrededor de 232.070 ha de caña de

azúcar con una producción de 169,37 t/ha de caña. La caña de azúcar es utilizada mayoritariamente para la producción de azúcar y alcohol carburante. Durante el proceso de producción genera por tonelada de tallos 250 kg de bagazo, 30 kg de cachaza, 6 kg de cenizas, 45 kg de melaza; además, por cada L de alcohol producido, se genera hasta 15 L de vinaza (Cury *et al.*, 2017). Esto sin considerar que durante la cosecha se generan residuos de hojas verdes, hojas secas, cogollo y caña remanente que representan el 25% de la caña limpia, los cuales en su mayoría son dejados en el campo y quemados posteriormente, perdiéndose todo el potencial energético y económico de dichos residuos (Cardona *et al.*, 2005). Así mismo, los residuos de la caña pueden ser utilizados para la producción de etanol, compost, cobertura del suelo, tableros aglomerados, alimento para animales y la producción de pulpa y papel (Cardona *et al.*, 2005).

En los últimos años, se ha evidenciado una variante de transcendencia para los residuos de bagazo, consistente en la creación de bioetanol (Aristizábal *et al.*, 2015). Este biocombustible se destina principalmente a la mezcla con gasolina, combinación ampliamente utilizada en el país que reduce la dependencia del derivado del petróleo, además de oxigenar el combustible y reducir el nivel de contaminación causada por los gases de efecto invernadero (FedeBiocombustibles, 2017). De forma general, en la fabricación del bioetanol, el bagazo de caña de azúcar se trata con ácido diluido, posteriormente se eliminan las toxinas incluyendo ácido acético, furfural y compuestos fenólicos empleando *overliming* con cal; se continúa con la fermentación con *Zimmomonas mobilis* ZM4 (pZB5), para finalmente destilar y deshidratar a partir de tamices moleculares hasta alcanzar la concentración de 99,5 % m/m (Valencia & Cardona, 2013; Sánchez *et al.*, 2010). En cuanto a la caña panelera, de ésta se generan alrededor de 44.789 t/año de residuos que de ser aprovechados tendrían un poder energético de 381,6 tJ/año. En el departamento del Meta, estos residuos están siendo utilizados para alimentación de cerdos, ganado y aves por su elevado contenido de azúcares (Núñez, 2012).

Maíz (*Zea mays*): uno de los cultivos de ciclo corto más relevantes a nivel nacional ya que ocupa el 15% de área agrícola. Se siembran alrededor de 600.000 ha de maíz con una producción de 1.868.972 t/año, siendo Córdoba y Tolima las zonas de mayor producción (Secretaría de agricultura y desarrollo rural, Gobernación de Antioquia, 2015). En los cultivos de maíz, se genera una gran cantidad de materia orgánica la cual alrededor del 50% se cosecha en forma de grano y el porcentaje restante corresponde a residuos como la caña, hojas, tusa, panoja, capacho, entre otras. Según investigaciones realizadas en el departamento del Meta, con base en la información suministrada por la Secretaría de Agricultura del Meta y de la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2006, para una producción de maíz de 1.368.996 t/año se generan alrededor de 1.728.642 t/año de rastrojo, 369.629 t/año de tusa y 288.858 t/año de capacho. Estos residuos pueden ser utilizados en diferentes procesos como en la obtención de fibra para alimentación animal y producción de etanol o para la cobertura del suelo con el fin de protegerlo de las condiciones ambientales ya implementado en el departamento del Meta (Núñez, 2012; Cardona *et al.*, 2005). Para la producción de etanol a partir de residuos de maíz, se tiene una eficiencia en procesos de molienda húmeda y molienda en seco superiores al 95% en la recuperación de etanol, con rendimientos de 419,4 L/t y 460,6 L/t de maíz para molienda en seco y 403,1 L/t de maíz para molienda en húmedo (Tamayo *et al.*, 2005).

Residuos de centrales de abasto

Las centrales de abasto generan un alto contenido de desechos orgánicos, que son destinados directamente a rellenos sanitarios lo que origina malos olores a causa de la descomposición y esto sin considerar los elevados costos de transporte (García & Gómez, 2016; Alzate *et al.*, 2017). En Corabastos S.A. ubicada en la ciudad de Bogotá, se generan en promedio 2.100 t mensuales de residuos, siendo las verduras el residuo de mayor producción (50%), seguido de las frutas (14%). Debido a ésta elevada generación de residuos, se realizó un estudio con el fin de obtener etanol a partir de los residuos generados en esta central de abastos, empleando para ello dos métodos de obtención: hidrólisis ácida y fermentación. De

esta investigación se concluyó que solamente con la hidrólisis ácida fue posible generar etanol de forma más eficiente, ya que se requiere menor tiempo que la obtención por fermentación, aunque la diferencia en cuanto al rendimiento no fue muy representativa (0,26%). En cuanto a la cantidad de etanol producido, se obtuvo una productividad de 47,5 L de etanol por tonelada de residuo. Teniendo en cuenta que en Corabastos diariamente se generan alrededor de 70 t diarias de residuos, se obtendrían 3.325 L de etanol diarios, lo que hace factible su producción permitiendo eliminar o disminuir el costo en el que se incurre para el manejo de los residuos (Fonseca & Maturana, 2010). A partir de caracterización, clasificación y acondicionamiento de residuos orgánicos de plaza de mercado en Manizales, Caldas, Cardona *et al.* (2004) lograron establecer condiciones de temperatura, pH y dosificación enzimática para transformar polisacáridos de los residuos, en azúcares reductores y finalmente obtención etanol. A partir de los residuos también se obtuvo biogas y compost. Alzate *et al.* (2011) en un estudio realizado para obtención de sustancias bioactivas con capacidad antioxidante a partir del análisis ORAC Capacidad de absorción de radicales de oxígeno, en subproductos de la central de abastos de Medellín -Colombia generados entre 2013 y 2014, encontró la mayor presencia de estas sustancias en el pimiento, seguido por zanahoria, tomate, repollo y lechuga, indicando el potencial de estos subproductos como materias primas para el desarrollo de alimentos funcionales para el consumo humano y la alimentación animal.

Los anteriores resultados demuestran la posibilidad del uso de residuos vegetales de las centrales de abasto para conseguir un conjunto de compuestos de interés que contribuyen a amortiguar cada vez más el impacto medio ambiental de los residuos, los cuales comienzan a tener mayor vigilancia por parte de las autoridades competentes. Además, se pueden obtener beneficios económicos para los centros de comercialización de frutas y verduras.

Residuos de frutas mezcladas: En una valorización de residuos de frutas generados en Medellín y en el Valle de Aburrá, se encontró que se generan alrededor de 163 t/día de residuos, llevados a

rellenos sanitarios ocasionando grandes costos a las industrias de donde provienen. Si las empresas participantes de la investigación realizaran la recuperación de los desechos a través de plantas de valorización, estas tendrían una capacidad de producción de alrededor de 375 t/mes. Se proponen entonces alternativas para aprovechar estos residuos, teniendo en cuenta análisis fisicoquímicos realizados a los residuos de las 12 empresas con las cuales se trabajó. 4 de estas empresas ya tienen implementado el uso de estos residuos como alimento para cerdos, lombricultura, compostaje y concentrado para animales (Yepes *et al.*, 2008).

Residuos de cítricos

Se estima que en la industria de cítricos mundial, se producen más de 120 millones t, de las cuales el 40% es utilizado para la extracción de menos de la mitad del peso del fruto como zumo, quedando como residuos la piel o cáscara, las semillas y la pulpa. La producción de estos residuos mundialmente se aproxima a los 20 millones de toneladas. En Colombia las industrias de cítricos tienen un desarrollo bajo comparado con otras industrias presentes en el territorio nacional, teniendo a la industria de zumos con la mayor participación. El cítrico más producido nacionalmente es la naranja con una producción de alrededor de 228.128 t/año, seguido de las mandarinas con 109.768 t/año (Aguilar *et al.*, 2012). Los cítricos tienen componentes muy similares y sus residuos están compuestos generalmente de agua, azúcares, pectina, fibra, ácidos orgánicos, aminoácidos, minerales, aceites esenciales, flavonoides y vitamina; los cuales si son recuperados de manera adecuada, brindarían valor agregado a la producción de estas frutas. Los residuos generados por el procesado de cítricos tienen potencialidad como materia prima para la elaboración de productos comerciales como pectina, fibra, aceites fijos y aceites esenciales de importancia. En estos últimos hay una gran atención en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, en formulación de aromatizantes, productos de limpieza y saborizantes, entre otros. Para la obtención de sus aceites se emplea el epicarpio o capa externa de la fruta donde encuentran localizadas las glándulas portadoras de los metabolitos de interés (Londoño *et al.*, 2012; Duran *et al.*, 2017).

Naranja (*Citrus sinensis*): Rodríguez & Hanssen (2007) lograron extraer dextrano de la sacarosa de residuos de naranja. Este compuesto con diversos usos médicos es industrialmente obtenido a partir de sacarosa comercial y la cepa B-512F de *Leuconostoc mesenteroides*. En la determinación del peso del compuesto final, se obtuvo un valor de 1.336.954,567 Da (mol/g), el cual es similar al reportado en literatura que va entre 150.000 y 2.000.000, por lo que se concluyó que el dextrano obtenido es apto para su uso industrial.

Mandarina (*Citrus reticulata*): En cascara de los cítricos hay presencia de diversas sustancias asociadas a sus aceites, por ejemplo el limoneno al cual se atribuyen diversos usos industriales. Navarrete *et al.* (2010) obtuvieron un aceite con parámetros similares al quimiotipo de Limoneno / γ -terpineno que puede contener 4,4% Alfa-pineno, 11,2% (\pm) Beta-pineno, 70,8% Limoneno, 8,3% Gamma-terpineno, 0,9% terpinoleno, 2,3% Linalool, 1,1% Alfa-terpineol y 0,9 de acuerdo con la clasificación establecida por Lota *et al.*, (2001).

Residuo de mango común (*Mangifera Indica L.*): los desechos del despulpado de mango común (*Mangifera indica L*) constituyen un material apto para obtener metabolitos fermentables y posterior obtención de etanol de acuerdo a resultados obtenidos por Mejía *et al.* (2007) quienes también encontraron posibilidad de obtener otro tipo de productos por vía fermentativa, gracias al alto contenido de carbohidratos (15,44% en base seca) y 7,03 % de contenido proteico (en base seca) siendo así un material favorable en procesos de fermentación microbiana.

Residuos de banano y plátano (*Musa paradisiaca*): Cuando el banano y/o plátano de exportación no alcanza las características requeridas, estos frutos son rechazados y posteriormente transformados en residuos cuyo destino final reutilizable corresponde principalmente a compostaje y alimentación animal, el resto irá para los rellenos sanitarios. Con el fin de aprovechar las características potenciales de estos productos, se han podido evaluar sus propiedades fisicoquímicas para producir compuestos de valor

agregado (Gil *et al.*, 2011; Mazzeo *et al.*, 2010; Chávez *et al.*, 2017). El banano rechazado puede ser utilizado para producir harina de banano con cáscara, la cual es empleada en la producción de panes tajados con mezcla de harinas (Gil *et al.*, 2011). El producto elaborado presenta un plus en micronutrientes donde se resalta el yodo, la fibra y el hierro aportado por la materia prima que inciden en una alimentación saludable del consumidor y que se presenta como una alternativa viable que puede ser bien acogida por el mercado (Gil *et al.*, 2011; Gañán *et al.*, 2007). De forma análoga en la utilización del remanente de plátanos, se puede obtener harina de vástago o de raquis la cual presenta una fuente considerable de fibra (23,02%) lo que la hace un complemento importante para alimentos ricos en fibra, tanto para la alimentación animal como humana. Además de la harina, se puede extraer almidón y generación de papel (Mazzeo *et al.*, 2010). Motato *et al.* (2006) a partir del uso de los diferentes residuos producidos en la cosecha del plátano -tallo, hoja y fruto- como sustrato para el cultivo del hongo *Pleurotus djamor*, demostró un buen contenido nutricional a partir del análisis bromatológico de los hongos, presentando alta cantidad de proteínas (38.5%) y baja cantidad de grasas (2.0).

Perspectivas de aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad de productos avícolas

En la búsqueda de residuos agroindustriales útiles en el proceso de elaboración de concentrado para gallinas, se requiere que estos presenten una elevada concentración de carotenoides; principalmente xantofilas amarillas -por ejemplo de la alfalfa- y rojas -por ejemplo las obtenidas del maíz y el sorgo, entre otros-, las cuales son extraídas principalmente de flores del género tagetes, como el caso de la patente No. 7381741 de la empresa BASF obtenida en el 2008. También a partir de residuos de crustáceos puede extraerse astaxantina -Patente No. 7241463 de 2007-, como pigmento alimentario. De otra parte el aprovechamiento de residuos vegetales provenientes de la industria agroalimentaria y que presentan un elevado contenido de carotenoides, pueden proyectarse para procesar pre-mezclas que sustituyan los colorantes artificiales de los concentrados para gallinas ponedoras (Alzate *et al.*, 2011).

Conclusiones

En comparación a países de la Unión Europea donde se aprovecha el 67% de los residuos generados. Colombia con el 17% aún tiene mucho camino por recorrer y aunque existe una voluntad gubernamental de acuerdo a la proyección del DNP en la cual se estima aumentar el aprovechamiento de residuos en Colombia, el cumplimiento de este propósito en residuos agroindustriales aún es incipiente; requiere articulación del sector productivo y de investigación científica y tecnológica, a partir de los residuos y/o subproductos agroindustriales, implementando el desarrollo de diversos procesos y/o productos que sean competitivos y cumplan con las respectivas normas de calidad para incursionar en el mercado.

Literatura citada

- Aguilar, P., Escobar, M. & Pássaro, C. (2012). Cap. 1 Situación actual de la cadena de cítricos en Colombia: limitantes y perspectivas (pp.7-47). Ed: Corporación Universitaria Lasallista. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10567/556>
- Alzate, L., González, D., Hincapié, S., Cardona, B., Londoño, J. & Jiménez, C. (2017). The profile of bioactive substances in ten vegetable and fruit by-products from a food supply chain in Colombia. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 37-43.
- Alzate, L., Jiménez, C. & Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de producto avícolas. *Producción + Limpia*, 6 (1), 108-127.
- Aristizábal, V., Gómez, A. & Cardona, C. (2015). Biorefineries based on coffee cut-stems and sugarcane bagasse: Furan-based compounds and alkanes as interesting products. *Bioresource Technology*, 196, 480-489.
- Cabrera, E., León, V., Montano, A. & Dopico, D. (2016). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro Azúcar* 43, 27-35.
- Cardona, C., Sánchez, Ó., Ramírez, J. & Alzate, L. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista colombiana de biotecnología*, 6 (2), 78-89.
- Caro, S., Vega, N., Husserl, J. & Alvarez, A. (2016). Studying the impact of biomodifiers produced from agro-industrial wastes on asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 126, 369-380.
- Casas, L. & Sandoval C. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales. *Revista digital universitaria*, 15 (12), 1-15.
- Castro, Y. P. (2014). Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia. UTAD E.O.
- Chávez, A., Bello, L., Agama, E., Castellanos, F., Álvarez, C. & Pacheco, G. (2017). Isolation and partial characterization of starch from banana cultivars grown in Colombia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 240-246.
- Chávez, Á. & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad* 9 (2), 90-107.
- Corpoema -Corporación EMA (2012). Informe final: Determinación de inversiones y gastos de administración, operación y mantenimiento para la actividad de generación en zonas no interconectadas utilizando recursos renovables. 282 p.
- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R. & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista colombiana de ciencia animal* 9, 122-132.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2016). Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años, advierte el DNP. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsarán-en-cinco-años,-advier-te-el-DNP-.aspx>
- Duran, R., Lúquez, L., Mejía, J., Pérez, L. & do Amaral, P. (2017). Production and characterization of films based on blends of chitosan from blue crab (*Callinectes sapidus*) waste and pectin from Orange (*Citrus sinensis* Osbeck) peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 676-683.
- Escalante, J., Orduz, et al., UPME, COLCIENCIAS, IDEAM, (2010). Atlas del potencial energético de la biomasa en Colombia. Universidad Industrial de Santander. 180 p.
- FedeBiocombustibles (2017). Preguntas Frecuentes de los Biocombustibles. Recuperado de: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>
- Federación Nacional de Cafeteros (2014). Ensayo sobre economía cafetera. Colombia 30 p.
- Fonseca, E. & Maturana, G. (2010). Aprovechamiento de los residuos vegetales de una central de abastos para la obtención de etanol, *Épsilon* (14), 21-31.
- Gañán, P., Zuluaga, R., Restrepo, A., Labidi, J. & Mondragon, I. (2007). Plantain fibre bundles isolated from Colombian agro-industrial residues. *Bioresource Technology*, 99 (3), 486-491.
- García, A & Gómez J. (2016). Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia, (tesis de pregrado), Fundación Universidad de América.
- García, C., Peña, A., Betancourt, R. & Cardona, C. (2017). Energetic and environmental assessment of thermochemical and biochemical ways for producing energy from agricultural solid residues: Coffee Cut-Stems case, *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.029>

23. Gil, M., Vélez, L., Millán, L., Acosta, M., Díez, A., Cardona, N., Rocha, L. & Villa, G. (2011). Desarrollo de un producto de panadería con alto valor nutricional a partir de la harina obtenida del banano verde con cáscara: una nueva opción para el aprovechamiento de residuos de la industria de exportación. *Producción + Limpia* 6 (1), 96-107.
24. González, D. (2013). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal, (tesis de Maestría) Corporación Universitaria Lasallista.
25. Hernández, J., Acevedo, J., Valdés, C. & Posso, F. (2015). Evaluación de rutas alternativas de aprovechamiento de la glicerina obtenida en la producción de biodiésel: una revisión, *Ingeniería y Desarrollo* 33(1), 127-148.
26. Hernández, M., Jorge, A., Acevedo, P. & Juan, C. (2014). Obtención de etanol a partir de glicerina: Una alternativa sostenible, Universidad de Santander- UDES Cúcuta.
27. Londoño, J., Sierra, J., Álvarez, R., Restrepo, A. & Pá-saro, C. (2012). Aprovechamiento de los subproductos cítricos, *Corporación Universitaria Lasallista*, 343-367.
28. Lota, ML., Serra, DL., Tomi, F., Casanova, J. (2001). Chemical variability of peel and leaf essential oils of 15 species of mandarins. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29, 77-104.
29. Melgarejo, L. (2003). Bioprospección: Plan nacional y aproximación al estado actual en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 73-86. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabioll/article/view/26672>
30. Mayorga, M. & Mejía, W. (2012). Aprovechamiento integral del glicerol residual en la industria del biodiésel: caso 1,3-propanodiol (1,3-pd), *Tecciencia*, 80-93.
31. Mazzeo, M., León, L., Mejía, L., Guerrero, L. & Botero, J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas, *Educación en Ingeniería* (9), 128-139.
32. Mejía, L., Martínez, H., Betancourt, J. & Castrillón, C. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la Obtención de azúcares fermentables, *Ingeniería y Ciencia* 3 (6), 41-62.
33. Molina, N., Fragozo, O. & Vizcaino, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 25 (2), 99-116.
34. Montoya, M. I., Quintero, J. A., Sánchez, O. J. & Cardona, C. A. (2005). Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. *Revista Universidad EAFIT*, 41 (139), 76 -87.
35. Motato, K., Mejía, A. & Leon, Á. (2006). Evaluación de los residuos agroindustriales de plátano (*musa paradisíaca*) y aserrín de abarco (*cariniana piriformes*) como sustratos para el cultivo del hongo pleurotus djamor, *Revista de la facultad de química farmacéutica* 13 (1), 24-29.
36. Naranjo, J. (2010). Producción de polihidroxibutirato a partir de residuos agroindustriales, (tesis de Maestría), Universidad Nacional de Colombia.
37. Navarrete, C., Gil, J., Durango, D. & Garcia, C. (2010). Extracción y caracterización del aceite esencial de mandarina obtenido de residuos agroindustriales, *Dyna* 77 (162), 85-92.
38. Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta, *Tecnura* 16 (34), 142-156.
39. Prada, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa, *EAN* (72), 182-192.
40. Rodríguez, N. & Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable, *Avances técnicos Cenicafe* (393), 1-8.
41. Rodríguez, O. & Hanssen, H. (2007). Obtención de dextrano y fructosa, utilizando residuos agroindustriales con la cepa leuconostoc mesenteroides NRRL B512-F, *EIA* (7), 159-172.
42. Salamanca, S. (2012). Compostaje de residuos industriales en Colombia, *Técnicaña* (28), 13-18.
43. Salazar, D., García, R. & Ortiz, O. (2015). Laboratory processing of Colombian rice husk for obtaining amorphous silica as concrete supplementary cementing material, *Construction and Building Materials*, 96, 65-75.
44. Sánchez, A., Gutiérrez A., Muñoz, J. & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproducto agroindustriales lignocelulósicos, *Revista Tumbaga* 5, 61-91.
45. Secretaria de Agricultura y desarrollo Rural (2015). Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas, Gobernación de Antioquia.
46. Valencia, M. & Cardona, C. (2013). Evaluación ambiental para procesos que usan residuos de la industria de los biocombustibles como materias primas. *EIA* 10 (19), 103-110.
47. Yepes, S., Montoya, L. & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del Aburrá Colombia. *Facultad nacional de agronomía* 61(1), 4422-4431.
48. Yepes, S., Montoya, L. & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. *Facultad nacional de agronomía* 61(1), 4422-4431.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: Febrero 28 de 2017

Aceptado: Abril 17 de 2017