
Obtención de alcoholes a partir de la fermentación del lixiviado de residuos orgánicos

Alcohols obtaining from the leacheate fermentation of organic residues

Arnol Arias^a, Enier Burbano^b, Juan C. Bustamante^b, Manuel Lozada^b

^aGrupo de Investigación GITA, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

^bIngeniería Industrial, Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, Colombia

Recibido: 05/08/2016; revisado: 27/02/2017; aceptado: 16/01/2018

Arnol Arias, Enier Burbano, Juan C. Bustamante H., Manuel Lozada: Obtención de alcoholes a partir de la fermentación del lixiviado de residuos orgánicos. *Jou.Cie.Ing.* **10** (1): 62-68, 2018. ISSN 2145-2628, e-ISSN 2539-066X.

Resumen

Actualmente a nivel mundial el uso excesivo de combustibles ha generado problemas ambientales que han perjudicado a toda la población y también a los diversos sistemas que en un ambiente convergen, por otro lado estos mismos carburantes han empezado a escasear, hecho por el cual es importante empezar a buscar nuevas formas de obtención de fuentes de energía como son los biocombustibles mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos con gran contenido de biomasa, procedente de la glucosa vegetal, materia prima fácil de obtener y a bajo costo, la cual puede ser transformada mediante procesos: mecánicos, termoquímicos, biotecnológicos y extractivos para la obtención de diversas fuentes alternas de energía. En este proyecto se utilizaron los residuos orgánicos de Mango, Papa, Piña, Plátano y Lulo, desechados en las plazas de mercado “La Esmeralda”, “Las Palmas” y “Bolívar”, ubicadas en la ciudad de Popayán, Colombia, para producir etanol como una nueva opción de biocombustibles. Para tal fin se realizó un proceso de fermentación con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y posterior obtención de lixiviado durante 30 días, a los cuales se les realizaron algunas pruebas físicas y químicas para determinar la cantidad y pureza del alcohol producido, obteniendo los mejores porcentajes de rendimiento en producción y pureza a partir de los residuos de piña y el lulo.

Palabras Claves: Lixiviación; biocombustibles; residuos orgánicos; levadura; fermentación.

Abstract

Now a days, the excessive use of fuel has generated environmental problems that have harmed the entire population and also the various systems that converge in an environment, in addition; these same fuels have to become scarce. This is why it is important to start looking for new ways of obtaining fuels from the well-known biofuels, by taking advantage of organic residues with a high content of biomass from vegetable glucose, a raw material that is easy to obtain and low cost, which Can be transformed using different processes; Mechanical, thermochemical, biotechnological and extractive, to obtain various alternative sources of energy.

This project used the organic waste of potato, lulo, pineapple and banana product of the market places of the city of Popayan, with which it is tried to generate a new production option in biofuels as is the ethanol, from said Debris that are found in the market squares of the city. For this purpose a fermentation process was carried out with yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and subsequent leachate for 30 days, to which the different physical and chemical tests were carried out to determine the quantity and purity of the alcohol, determining that of the residues Used, pineapple and lulo were the major contribution.

Keywords: Leaching; Alcohols from fruit trees; yeast, fermentation.

1. Introducción

El avance en materia de desarrollo industrial y tecnológico, hacen que las grandes potencias se cuestionen acerca del daño medio ambiental que ocasionan al planeta, “en el mundo se generan entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de residuos urbanos” [1]. Si se considera que muchos de estos residuos no son tratados debidamente y su disposición final no es la adecuada, estaríamos frente a un problema de dimensiones desproporcionadas, teniendo en cuenta los impactos (políticos, económicos, sociales y ambientales) que el mal manejo de los residuos sólidos causa, en detrimento no solo del medio sino de la sociedad misma.

En la actualidad un sin número de proyectos son formulados con el fin de mitigar los da os medio ambientales que el ejercicio de la vida cotidiana infringe a la tierra, sin embargo a pesar de la contribución en materia de investigación en la reutilización o aprovechamiento de los residuos sólidos, no es suficiente. Sin embargo “Representa un avance en la planificación de la gestión integral de residuos sólidos en el país, la cual busca que los proyectos tengan definida su viabilidad financiera e institucional, y permite a las entidades territoriales incluir dentro de sus planes de desarrollo” [2].

En Colombia se generan aproximadamente 25,079 toneladas diarias de residuos, de las cuales el 90.99 % (22,819.2 ton/día) son dispuestas en rellenos sanitarios o plantas integrales de tratamiento de residuos sólidos; persistiendo la disposición inadecuada del 9.01 % restante (2,260 ton/día), según la Superintendencia de Servicios Públicos [3]:

“Para el año 2013, la cantidad de residuos presentados aumentó 0.7 % con respecto al año 2011 y 8.4 % con respecto al año 2012. Se observa un aumento de la cantidad de residuos, posiblemente por mejoramiento en los procesos de medición por parte de los prestadores del servicio.” [4]

Lo anterior refleja una realidad, esto hace que se planteen alternativas con el fin de identificar qué es lo que

se desecha, debemos tener en cuenta que un porcentaje de todo aquello, son residuos orgánicos los cuales se les puede dar un mejor uso, brindando la posibilidad de la transformación en elementos de valor agregado, utilizando al máximo sus componentes, contribuyendo con medios de aprovechamiento para este tipo de residuos.

El departamento del Cauca cuenta con 39 municipios que producen en promedio 322.8 ton/día, solamente el 23 % de los municipios del departamento (10) disponen adecuadamente sus residuos, con una generación promedio de 236.6 ton/día (73.3 % de la producción departamental), incluyendo Popayán, la capital del departamento, que produce cerca de 191.8 ton/día (59.42 % del total de los residuos generados en el departamento) y los dispone en el relleno sanitario “El Ojito”; ubicado al suroccidente de Popayán, en la vía que conduce al municipio del Tambo. A unos 4 km de la población urbana, 1 km de la población rural y cuya área total es de 13.1 hectáreas, [3].

Los datos de la caracterización de residuos en el relleno sanitario de Popayán, según información suministrada por el sistema único de información de servicios públicos (SUI), son: residuos orgánicos 66.18 %, vidrio 2.52 %, metal 1.02 %, plástico 10.62 %, papel 11.78 %, cartón 1.06 %, otros orgánicos 1.2 % otros inorgánicos 6.7 %.

De acuerdo a los datos presentados se evidencia un alto porcentaje de residuos orgánicos que son desaprovechados, considerados como un tipo de residuo más, desestimando las propiedades que tienen en la generación de energías alternativas que pueden ser medios para lograr un adecuado tratamiento de los mismos.

Actualmente la industria demanda métodos amigables con el medio ambiente ya sea por pedido del gobierno o por un sentimiento de conservación, por tanto lo que pretende esta investigación es dar a conocer un mecanismo de aprovechamiento a través de la obtención de alcohol a partir de la fermentación del lixiviado de los residuos orgánicos provenientes de las plazas de mercado en el municipio de Popayán, sentando una ba-

se para el desarrollo a futuro de nuevos proyectos de investigación sobre el tema.

2. Contenido

El desarrollo de esta investigación fue de tipo cuantitativa-experimental, debido a que se trabajó con algunas variables que se podían identificar y cuantificar de manera que arrojen datos medibles, siendo estos importantes para la toma de decisiones. También fue necesario hacer uso de la medición de parámetros organolépticos, pues es era necesaria la descripción de cambios en el proceso de fermentación del lixiviado de residuos orgánicos.

Dentro de las actividades contempladas para la realización de la investigación se dispuso en primera instancia la recopilación de información concerniente a biocombustibles, manejo de residuos orgánicos, etc. Con el fin de conocer la relación cantidad de materia — producción de lixiviado, se tomó mediciones de peso inicial y peso final de la materia orgánica. Fue necesario la realización de pruebas preliminares con el fin determinar variables a controlar en el proceso de lixiviación.

La destilación del lixiviado recolectado y el análisis del compuesto denominado “DESTILADO”, se hizo con el fin de establecer el porcentaje de alcohol que aporta cada residuo orgánico.

2.1. Pruebas Físicas

Para la realización de este análisis se utilizó el refractómetro Brix 0 — 90% marca Brixco; con el fin de determinar la presencia de azúcares en los destilados de mango, lulo y piña, encontrando resultados positivos para tal fin. Respecto a los destilados de papa y plátano se hizo necesario la realización de un proceso de hidrólisis, esto con el fin de transformar los almidones presentes en azúcares, como lo establece Sergio H en su trabajo “Evaluación y Simulación de la Producción de Glucosa a Partir del Plátano y sus Residuos como Alternativa Competitiva en el Mercado Nacional” [5]

2.2. Determinación de la gravedad específica

Para tal fin se determinó la densidad de cada uno de los destilados a trabajar y se dividió entre la densidad del agua [6]. Los datos obtenidos fueron los que se muestran en la Tabla 1.

| Destilado | Masa (g) | Vol (mL) | Densidad (g/mL) | Gravedad específica |
|-----------|----------|----------|-----------------|---------------------|
| Agua | 9,9453 | 9,970 | 0,9975 | — |
| Piña | 9,9250 | 9,970 | 0,9955 | 0,99799 |
| Lulo | 9,9679 | 9,970 | 0,9990 | 1,0015 |
| Mango | 9,9559 | 9,970 | 0,9985 | 1,0010 |

Tabla 1: Datos de la densidad para el cálculo de la gravedad específica de los destilados obtenidos.

Para la interpretación de los resultados se hizo necesario el uso de una tabla de referencia denominada “Porcentajes de Alcohol en Volumen a 15,56 °C correspondientes a la Gravedad Específica a diferentes temperaturas” y un ejemplo de “algunos ejemplos de densidad y peso específico de líquidos” [7]. La primera tabla trabaja con valores menores que uno, pues aquellos superiores a este se consideran sin grado de alcohol, al estar cercanos a la densidad ideal del agua a 15,56 °C que es de 1 g/cm³.

Al realizar el cálculo de la densidad específica por tipo de destilado de materia orgánica, se pudo identificar que el de piña a 22 °C tiene un porcentaje de alcohol de 1,41% grados Lussac (GL). Esto orientó el trabajo en la obtención sólo de un destilado, optimizando el proceso de lixiviación y fermentación para este tipo de materia orgánica.

2.3. Pruebas químicas

Para identificar la presencia de alcohol u otro compuesto químico, se realizaron una serie de pruebas de tipo cualitativo en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán, con el “Reactivo de Lucas para la identificación de alcoholes y con lugol para ácidos carboxílicos” [8].

Reactivo de Lucas: La reacción que se lleva a cabo al adicionar el reactivo de Lucas a la muestra en análisis, se explica a continuación: Los cloruros de alquilo correspondientes son insolubles. La formación de un cloruro, a partir de alcohol, se manifiesta por la turbiedad que aparece cuando se separa el cloruro de la solución; en consecuencia el tiempo que transcurra hasta la aparición de la turbiedad es una medida de la reactividad del alcohol. Según lo estipulado por [8] (p. 669-670), se afirma que “Un alcohol terciario reacciona de inmediato con el reactivo de Lucas, mientras que uno secundario reacciona en cinco minutos aproximadamente; a tem-

peratura ambiente, un alcohol primario no reacciona de forma apreciable”.

2.4. Prueba de ácidos Carboxílicos

Esta prueba consistió en colocar 2 gotas de la muestra en un tubo de ensayo, posteriormente adicionar 2 gotas de la solución KI / I₂. Se Tapo el tubo y fue llevado a baño maría por 1 minuto aproximadamente, luego se dejó enfriar y se agregaron 2 gotas de almidón y se procedió a realizar observación directa. Finalmente como se observa en la figura 1, si la muestra se tornaba azul es un ácido carboxílico [8].

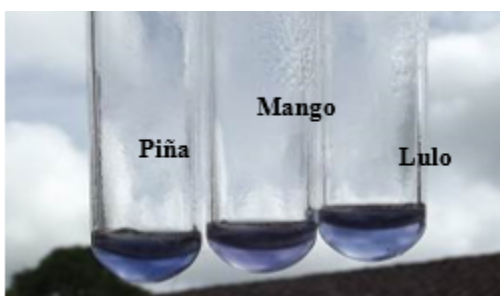


Figura 1. Prueba de ácidos Carboxílicos.

En la imagen se observa que la prueba dio positivo para los destilados de piña, mango y lulo, encontrándose también que el pH de cada muestra está por debajo de 5 unidades, dato que es importante puesto que el medio para la fermentación alcohólica debe ser ácido, lo que indicaría la posible presencia de un alcohol primario, secundario o terciario. "El objetivo de la fermentación alcohólica es la obtención de bioetanol de 2^a generación mediante la fermentación de los azúcares contenidos en los residuos orgánicos" [9]

Los resultados que arrojaron las pruebas químicas realizadas a diferentes muestras de destilado de materia orgánica, se muestran en el tabla 2.

Las pruebas químicas realizadas permiten establecer la presencia de alcohol primario en el destilado de piña, lulo y mango, como se establece en [10] (pp. 218-219). Es importante resaltar que la fermentación del lixiviado obtenido se realizó en presencia de oxígeno, es decir fermentación aerobia, por ello, la prueba de ácidos carboxílicos fue positiva, permitiendo afirmar que el destilado es una mezcla de alcohol primario y ácidos carboxílicos. Para el destilado de plátano y papa, ambas pruebas fueron negativas, ya que antes de realizar la prueba para la determinación de alcohol (prueba de Lucas) y la prueba de ácidos carboxílicos, se debía hacer

una hidrólisis, con el fin de transformar los almidones presentes en azúcares.

| Muestras | PRUEBAS CUALITATIVAS | | |
|----------|----------------------|-------------------|---------------------|
| | pH | Reactivo de Lucas | Ácidos carboxílicos |
| Piña | 4 | Positivo | Positivo |
| Lulo | 4 | Positivo | Positivo |
| Mango | 3 | Positivo | Positivo |
| Plátano | 9 | Negativo | Negativo |
| Papa | 9 | Negativo | Negativo |

Tabla 2: Resultado del análisis funcional orgánico a distintas muestras.

2.5. Producción de lixiviado

Se adaptó un recipiente plástico con una llave de salida, para poder recibir el lixiviado obtenido.

Este proceso se inició pesando 2 kilogramos de materia orgánica, usados como capa base. Posteriormente, se adicionó levadura en forma de jarabe, en la segunda capa se realizó el mismo proceso, finalmente la tercera capa fue de 1 kg.

Para optimizar el proceso de fermentación se utilizó levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae* y microorganismos eficientes. Para activar la levadura se diluyó en agua con panela a 40°C. La estructura se detalla en la figura 2.

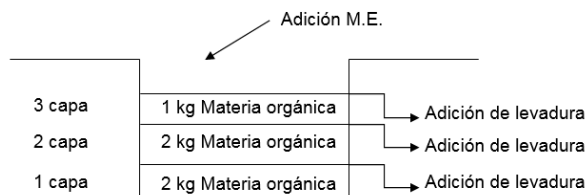


Figura 2. Estructura para el proceso de lixiviación.

Los resultados de la producción de lixiviado, por la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica, fueron obtenidos en un tiempo promedio de 30 días, los datos se describen en el tabla 3.

| Tipo de Materia Orgánica | Peso inicial (kg) | Peso final (kg) | Producción de lixiviado (mL) |
|--------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|
| Piña | 5 | 0,8 | 1200 |
| Papa | 5 | 2,8 | 750 |
| Mango | 5 | 3,3 | 700 |
| Plátano | 5 | 4,0 | 200 |
| Lulo | 5 | 1,4 | 1200 |

Tabla 3: Relación cantidad de materia orgánica — producción de lixiviado.

En la figura 3 muestra la cantidad excedente de materia orgánica por tipo de residuo en analisis, donde se evidencia que el porcentaje de rendimiento de la piña es 84 % y del lulo es 72 %, siendo estos dos residuos orgánicos los que contribuyen en gran proporción a la generación de lixiviado, como se ve reflejado por los altos valores de la desviación estandar, que para este caso indican que a mayor diferencia de peso inicial vs final, mayor cantidad de lixiviado se esta produciendo.

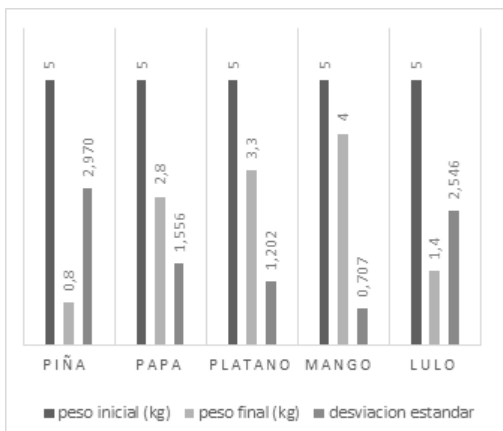


Figura 3. Cantidad de materia orgánica antes y después del proceso de lixiviación.

Por otra parte, los porcentajes de rendimiento más bajos para la producción de lixiviado está representado en los residuos de papa, plátano y mango, siendo este último con un 20 % el de menor rendimiento y bajo aporte de lixiviado [11].

De acuerdo a la información presentada en la figura 4, se puede afirmar que la producción de lixiviado es mayor en los residuos de piña y lulo, si se compara con la cantidad final de materia orgánica presentada en la figura 3. Se puede plantear que al optimizar los procesos de compostaje y lixiviación, el mango y la papa podrían generar un mayor aporte de lixiviado, ya que su eficiencia en producción, está relacionado con la cantidad de biomasa transformada.



Figura 4. Producción en volumen de lixiviado a 30 días.

En relación con el aporte de lixiviado a 30 días, el volumen para los residuos orgánicos de piña y lulo es de 1200 mL, con un residuo de 0,8 kg para la piña y 1,4 kg para el lulo (ver figura 4), el cual puede ser utilizado como abono orgánico [12]. De acuerdo a la prueba de destilación realizada, los datos obtenidos según tipo de lixiviado se presentan en el tabla 4.

| Lixiviado | Piña | Papa | Mango | Plátano | Lulo |
|---------------------------------|------|------|-------|---------|------|
| V_0 (mL) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| V_f (mL) | 50 | 79 | 60 | 68 | 44 |
| Volumen destilado obtenido (mL) | 50 | 21 | 44 | 30 | 24 |
| Porcentaje de destilación (%) | 50 | 21 | 44 | 30 | 24 |

Tabla 4: Resultados obtenidos para el proceso de destilación del lixiviado fermentado de materia orgánica.

V_0 (mL): Volumen inicial en el matraz.

V_f (mL): Volumen final en el matraz.

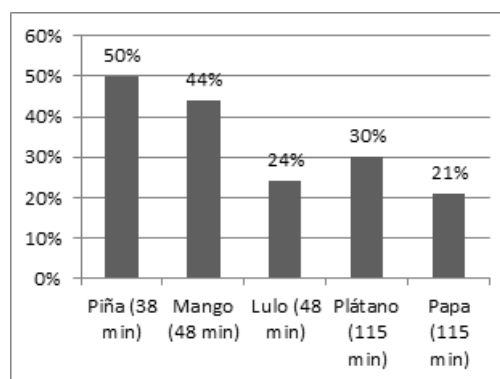


Figura 5. Porcentaje de destilado vs. Tiempo de destilación.

La figura 5 indica que la mayor cantidad en volumen de destilado obtenido en relación con el tiempo, lo produce la materia orgánica procedente de la piña y el mango, pues de los 100 mL de lixiviado, el destilado obtenido fue del 50 % y el 44 % respectivamente, y un "desperdicio" en el matraz de 50 mL para piña y 60 mL para mango.

Los porcentajes en volumen de lixiviado para la materia orgánica de lulo, plátano y papa, son muy bajos, y se requiere de una mayor cantidad de tiempo en el proceso de destilación [13].

Si se hace una relación sin considerar la materia orgánica que se libera en forma de gas, se puede plantear que 4,2 kg de residuos de piña y 3,6 kg de residuos de lulo se transformaron en 1200 mL de lixiviado, o sea que por kilogramo de materia orgánica se produce 285,71 mL y 333,33 mL para piña y lulo respectivamente. Estos datos indican, que el lulo aporta aproximadamente 47,62 mL más que la piña, por kilogramo de materia transformada.

Respecto a la producción de lixiviado de papa y mango, cabe resaltar que a partir de 2,2 kg de residuos de papa se produjo 750 mL de lixiviado y 1,7 kg de residuos de mango se produjeron 700 mL de lixiviado, o sea, por kilogramo de residuo orgánico de papa y mango se produce aproximadamente 341 mL y 411,7 mL de lixiviado, además el mango tiene una producción de 70,7 mL más por kilogramo de materia orgánica que la papa.

Al optimizar el proceso de obtención de lixiviado para los residuos orgánicos de papa y mango se lograría tener una mayor producción del mismo, el cual puede ser utilizado por su propiedades, como fertilizante para plantas, abono líquido, o considerar la realización de la hidrólisis de almidones para la papa y el plátano [14].

3. Conclusiones

Considerando el auge en materia de desarrollo biotecnológico, y la creciente demanda de proyectos que vinculen el uso de materias orgánicas, esta investigación sienta una base para el desarrollo de proyectos en la Fundación Universitaria de Popayán, que contribuye al aprovechamiento de los residuos de plaza de mercado.

El proyecto de investigación arrojó resultados satisfactorios, pues a través de las pruebas físico-químicas se demostró la presencia de alcohol proveniente de la fermentación aeróbica del lixiviado resultante de residuos orgánicos de piña, mango y lulo, especialmente. En cuanto al destilado del plátano y papa teóricamente es posible la obtención de etanol a partir de la hidrólisis

de sus almidones, lo cual puede ser objeto de otro proyecto de investigación [15].

En la prueba piloto realizada se evidenció que el lixiviado de piña aportó mayor volumen de destilado generando un 50 % en porcentaje de rendimiento, los porcentajes de rendimiento evidenciaron que el lixiviado de piña es el que aporta mayor volumen de destilado, con un 50 %. Este porcentaje pudo ser mayor si la destilación se hubiera realizado en un laboratorio que garantice condiciones industriales, pues las pruebas realizadas a las muestras de 100 mL para cada tipo de materia en análisis no arrojaron los resultados esperados.

La determinación de alcohol para los destilados de piña, mango, lulo, se corroboró, a través de pruebas químicas y se calculó el volumen medido en Grados Lussac, de la piña que fue de 1.41 %, GL. Es importante resaltar que la prueba con el picnómetro no es determinante para el contenido de alcohol, ya que relaciona las densidades de las sustancias con la densidad del agua y al ser una prueba cualitativa puede generar algún porcentaje de error. En los destilados de mango y lulo el valor estuvo muy cercano a la densidad del agua, por lo cual el contenido de alcohol era difícil medir, utilizando este tipo de pruebas que vinculan las propiedades físicas de los compuestos analizados, por lo que es necesario para próximos proyectos de investigación relacionados con esta temática realizar las mediciones haciendo uso de un cromatógrafo de gases.

El porcentaje de alcohol para los destilados de mango y lulo superaron el valor límite establecido por las tablas de "Porcentajes de Alcohol en Volumen a 15,56°C Correspondientes a la Gravedad Específica a diferentes Temperaturas", siendo de 1,0010 y 1,0015 respectivamente. El único valor dentro del rango establecido, fue el de la piña, con $S=0,99799$, (según la tabla consultada 1.41 %, GL). Como alternativa de optimización, se podría plantear una segunda destilación con el fin de eliminar el exceso de agua, y de este modo alcanzar un mayor porcentaje de alcohol en los destilados.

El proyecto constituye un gran aporte a nivel investigativo, ya que el desmesurado aumento de la producción y la acumulación de residuos sólidos, hacen que el gobierno Colombiano a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, pueda plantear dos posibles opciones de solución a esta problemática, que deben ser aplicadas simultáneamente para lograr resultados óptimos. La primera opción, de acuerdo a la política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos, consiste en dar prioridad al manejo integral de los mismos, resaltando dentro de las operaciones de gestión, aquellas enfocadas al aprovechamiento y valorización de los distintos materiales que conforman

los residuos sólidos urbanos. La segunda, es dar una disposición final adecuada a los residuos que no sean susceptibles de aprovechamiento, en rellenos sanitarios operados técnicamente.

Teniendo en cuenta las disposiciones del gobierno nacional, la obtención de alcohol a partir de la fermentación del liciviado resultante de los residuos orgánicos de Mango (*Mangifera indica l*), Papa (*Solanum tuberosum*), Piña (*Ananas comosus*), Plátano (*Musaceae*) y Lulo (*Solanum quitoense lam*), se convierte en una alternativa, enmarcada en la política de gestión integral de residuos sólidos, que permite el aprovechamiento de los residuos provenientes de las plazas de mercado “La Esmeralda”, “Las Palmas” y “Bolívar” con el fin de disponer de esta, buscando el beneficio de las propiedades de la biomasa presente, transformándola en productos de valor agregado.

Referencias

- [1] R. Profesional, “Cada año se producen entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de residuos urbanos en el mundo.” 8 Septiembre 2015 [En línea]. Disponible: <http://www.residuosprofesional.com/millones-toneladas-residuos-urbanos/>.
- [2] MinVivienda, “Planes de gestión integral de residuos sólidos – pgirs.” 31 Marzo 2017 [En línea]. Disponible: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos/>.
- [3] Superservicios, “<http://www.superservicios.gov.co/>” 5 2008 [En línea]. Disponible: http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?p_l_id=25030&folderId=25192&name=DLFE-8354.pdf.
- [4] Superservicios, “Disposición final de residuos sólidos en Colombia.” 2013 [En línea]. Disponible: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/3374/35815/version/1/file/%282013%29+INFORME+DE+DSPOCI%C3%93N+FINAL+DE+RESIDUOS+SOLIDOS+EN+COLOMBIA.pdf>.
- [5] S. H. Duque Quinaya, “Evaluación y simulación de la producción de glucosa a partir del plátano y sus residuos como alternativa competitiva en el mercado nacional,” Master’s thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- [6] G. H. Taipe, “Densidad en líquidos: Método del picnómetro.” [En línea]. Disponible: <http://www.geocities.ws/todolotrabajossallo/fico4.pdf>.
- [7] ATTP, “Densidad y peso específico.” 2008 [En línea]. Disponible: <http://www.atpplleal.com/Pujat/file/DENSIDAD%20Y%20PESO%20ESPECIFICO.pdf>.
- [8] R. T. Morrison and R. N. Boyd, *Química Orgánica*, ch. Alcoholes breve introducción, pp. 669–670. México: Addison Wesley, 5 ed., 1998. ISBN 968 444 340 4.
- [9] L. A. García, “Fermentación alcohólica - bioetanol.” Febrero 2013 [En línea]. Disponible: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/FERMENTACION-ALCOHOLICA.pdf>.
- [10] L. Galagovsky Kurman, *Química Orgánica*, ch. Fundamentos teórico prácticos para el laboratorio, pp. 218–219. Buenos Aires: Eudeba, 1995.
- [11] E. Álvarez, A. Pantoja, L. Gañan, and G. Ceballos, “Producción de liciviado de raquis de plátano en el eje cafetero de Colombia,” 2013.
- [12] Y. P. Andrade Ordoñez and O. A. Lastra León, “Tratamiento de residuos sólidos orgánicos procedentes del casino ubicado en el centro agropecuario la granja sena espinal-tolima con microorganismos eficientes (em) para la elaboración de compost como alternativa de producción limpia y sostenible.” 2014.
- [13] J. D. Losada Bermeo, “Caracterización de los liciviados generados en el proceso de compostaje provenientes de residuos orgánicos de plaza de mercado y su uso como complemento nutricional para cultivos hidropónicos,” 2012.
- [14] J. d. J. Ramírez Vergara and A. E. Mejía Echeverry, “Modelo económico para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de mango y banano generados en la central mayorista de Antioquia,” 2013.
- [15] C. A. Guevara-Bravo, J. M. Acevedo-Ruiz, and C. A. Peláez-Jaramillo, “Biorrefinería a partir del banano de rechazo: Un sistema integrado para la co-producción de etanol, proteína unicelular, biogás y compost,” *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 1, 2016.