

ARTICULO REVISIÓN

APROVECHAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA YUCA (*Manihot esculenta*): UNA REVISIÓN

UTILIZATION OF AGRO-INDUSTRIAL BY-PRODUCTS OF THE CASSAVA (*Manihot esculenta*) PRODUCTION CHAIN: A REVIEW.

***Camilo Andrés Bayona Buitrago¹, María Fernanda Cepeda¹, Lexy Carolina León Castrillo²**

¹Estudiantes de ingeniería agroindustrial, Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente. Semillero de Investigación en Aprovechamiento de Residuos y Bioprocesos (SINARBA) - Av. Gran Colombia, * Correo electrónico: camiloandresbb@ufps.edu.co : fernandacema@ufps.edu.co
Tel: 300 8660383/322 2290949, Cúcuta-Norte de Santander, Colombia.

²Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Programa de Ingeniería Agroindustrial - Directora del semillero SINARBA - Docente de cátedra. – Av. Gran Colombia, * Correo electrónico: lexycarolinalc@ufps.edu.co
Tel: 318 4281437, Cúcuta-Norte de Santander, Colombia.

Recibido: 21 de febrero de 2022 ; aceptado 30 de junio de 2022

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta*) es uno de los tubérculos más cultivados a nivel mundial, se considerada un alimento esencial debido a que proporciona una valiosa fuente de carbohidratos y un porcentaje significativo de vitaminas y minerales. La cadena productiva de la yuca origina diferentes subproductos como: Cáscaras, hojas y afrecho o bagazo; los cuales poseen un porcentaje de contenido lignocelulósico, almidón y fibra despertando interés por los investigadores. Su inadecuada disposición genera un impacto negativo en el medio ambiente, siendo el aprovechamiento de los mismos una alternativa para mitigar tal impacto. En base a lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en realizar una

revisión bibliográfica sobre los diferentes usos o aprovechamientos que se están efectuando a los subproductos generados en esta cadena productiva; para ello fueron consultadas diferentes revistas electrónicas y bases de datos. Se plantearon tres tópicos de interés (cáscaras, hojas y afrecho o bagazo) generados en el procesamiento de la yuca, los cuales han sido empleados en diferentes procesos de producción sustentables como: Tratamiento de aguas residuales, alimentación animal, humana, producción de bioplásticos, carbón activado, ácido cítrico y biodiésel. Finalmente, se resalta la importancia de continuar realizando investigaciones respecto a la temática abordada para la creación de nuevos productos y alternativas que satisfagan las necesidades de los consumidores y así mismo den respuesta a problemáticas actuales.

Correspondencia Autor: *Camilo
Andrés Bayona Buitrago, *Correo
Electrónico Autor:
camiloandresbb@ufps.edu.co

Palabras clave: Agroindustria, aprovechamiento, residuos, subproductos, yuca.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta*) is one of the most cultivated tubers worldwide and is considered an essential food because it provides a valuable source of carbohydrates and a significant percentage of vitamins and minerals. The cassava production chain generates different by-products such as: peels, leaves and bagasse, which have a percentage of lignocellulosic content, starch and fiber, arousing the interest of researchers. Their inadequate disposal generates a negative impact on the environment, being the use of these products an alternative to mitigate such impact. Based on the above, the objective of this research was to carry out a bibliographic review of the different

uses of the by-products generated in this production chain; for this purpose, different electronic journals and databases were consulted. Three topics of interest (husks, leaves and bagasse) generated in the processing of cassava, which have been used in different sustainable production processes such as: wastewater treatment, animal feed, human food, production of bioplastics, activated carbon, citric acid and biodiesel. Finally, it is important to continue conducting research on the topic addressed for the creation of new products and alternatives that meet the needs of consumers and respond to current problems.

Key words: Agro-industry, utilization, wastes, by-products, cassava.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta*) es considerada como un alimento esencial, debido a que proporciona una valiosa fuente de carbohidratos y un porcentaje significativo de vitaminas y minerales; así mismo, es uno de los tubérculos más cultivados en el mundo (Del Río & Grande, 2021), y la cuarta fuente de energía alimentaria más importante después del arroz, la caña de azúcar y el maíz. (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE], 2016). La yuca se clasifica de acuerdo a su contenido de glucósido cianogénico como dulce y amarga (C. García et al., 2018). La variedad amarga presenta altas cantidades de un componente tóxico llamado ácido

cianhídrico, mientras que la dulce presenta bajas cantidades de esta toxina, siendo esta apta para el consumo (Harijono et al., 2017).

Este tubérculo es apreciado por los pequeños agricultores porque se adapta a cualquier cambio climático extremo y genera ingresos económicos provenientes de diferentes productos elaborados con esta materia prima (DANE, 2016), que al ser procesada genera gran cantidad de residuos (Vargas & Pérez, 2018), habitualmente son quemados sin control, desechados de forma inadecuada en botaderos o en lugares no aptos para ser depositados generando un deterioro del ambiente (Gavilanes et al., 2015), debido al desconocimiento por parte

de las personas respecto a las características químicas, biológicas y nutricionales que estos poseen, convirtiéndolos en un recurso valioso en diferentes aplicaciones (Almendros et al., 2015; Ríos et al., 2016).

Los gobiernos están impulsando planes de desarrollo sostenible a nivel local, nacional y mundial, donde se dispongan de manera segura los residuos (Cury et al., 2017), como la cáscara, hojas y el afrecho o bagazo. Su aprovechamiento es una de las mejores alternativas para mitigar la contaminación ambiental, (Del Río & Grande, 2021). A pesar de tener sustancias nocivas para el ecosistema, contiene nutrientes y características funcionales. Por consiguiente, se han realizado estudios e investigaciones que buscan obtener subproductos de calidad e innovadores (Anyanwu et al., 2015), como: Bioplásticos (Versino et al., 2015) provenientes de las cáscaras, biogás por parte del bagazo o afrecho de la yuca (Moshi et al., 2015) y alimento animal a base de las hojas o del follaje de la planta (Arce et al., 2015).

1) Cáscaras de yuca

Las cáscaras de yuca corresponden alrededor del 3 al 5 % de la masa de las raíces y anualmente se producen

aproximadamente once millones de toneladas a nivel mundial (Schwantes et al., 2015). Es por esto, que se busca emplearla en diferentes procesos de producción o como alternativas para reducir el impacto ambiental.

1.1 Tratamiento de aguas residuales

Los desechos de metales pesados y pigmentos de colorantes son considerados un tipo de contaminantes en aguas residuales debido a su alto nivel de toxicidad para el ecosistema como para la salud humana (Yang, 2011). Lo cual genera gran preocupación, siendo centro de atención a los investigadores y agencias ambientales que intervienen en el control de la contaminación del agua (Goncalves et al., 2014). Es primordial remover los desechos antes de que puedan ingresar al ambiente y posteriormente en la ingesta alimentaria de las personas. Los procesos más conocidos son: Precipitación química, intercambio iónico, filtración por membranas y adsorción, siendo este último el método más simple y eficiente (Liao et al., 2011).

Tejada et al. (2016), tamizaron y redujeron el tamaño de la cáscara de yuca y ñame con el fin de ser modificadas químicamente con ácido cítrico (AC) (0,6 M) a través de un

mecanismo de carboxilación. Evaluaron el comportamiento de la absorción de plomo “Pb (II)” en aguas residuales donde obtuvieron como resultado que la cáscara de yuca modificada en 20 minutos presenta un porcentaje de remoción del 73 % con una capacidad adsorptiva de 15 mg/g, demostrando mayor eficiencia respecto a los 11,5 mg/g de la cáscara sin modificar, acorde con los resultados reportados por (Albis et al., 2016), donde en 20 minutos obtuvieron la capacidad adsorptiva de 7,20 mg/g representado en un 95 % de porcentaje de remoción, en comparación a la cáscara sin modificar la cual presenta un porcentaje de remoción del 86,6 % con una capacidad adsorptiva de 6,19 mg/g, esto se debe al contenido de lignina de la cáscara de yuca, que aumenta el número de grupos funcionales hidroxilos y carboxilos contribuyendo a una mayor capacidad de adsorción por parte de la biomasa.

Con relación a la medición de los efectos de concentración y adsorción, en ambos estudios se utilizaron isotermas siendo las de Freundlich y Langmuir las que mejor se adaptaron a los datos experimentales, al igual que en Albis et al. (2017), donde se observó que la isoterma de Freundlich era la más ideal para ajustar los datos experimentales presentes en la adsorción

de azul de metileno en soluciones acuosas con ayuda de cáscaras de yuca modificadas con ácido fosfórico, además, para medir la cinética de adsorción de este colorante el modelo de pseudo segundo orden fue el más óptimo, de acuerdo a Acosta et al. (2017), el propósito de este modelo es determinar la capacidad adsorptiva máxima en el equilibrio y las constantes de velocidad cinética de adsorción como se evidenció en su estudio de la capacidad de remoción de Cr (VI) en medio acuoso a través de cáscara de yuca.

1.2 Producción de bioplásticos

Los plásticos son muy útiles y prácticos, por esta razón se han incorporado a la sociedad de consumo, ya que sirven como envoltura para nuestros productos alimenticios. El 80% de la contaminación del mar por plástico se deriva de fuentes terrestres y el 20% restante de origen marino (Elías, 2015). Estos desechos han ocasionado que en los últimos siglos se demande un producto sustituto y menos contaminante. Se han realizado diversos estudios, con el fin de utilizar otros productos similares con nuevas alternativas y tratamientos, es así, como surgen los bioplásticos, un material biodegradable que se origina utilizando recursos renovables y en algunos casos

presenta características similares a los plásticos convencionales (Pacheco et al., 2014). Riera et al. (2018), plantea que la agroindustria genera residuos que dada su composición y posibilidad de procesamiento se convierten en un material de interés para ser aprovechados como materia prima en la producción de bioplásticos, para esto se estima y se evalúan los residuos compuestos por almidón o recursos lignocelulósicos.

Existe una gran variedad de opciones de materias primas para la elaboración de los bioplásticos, como los subproductos originados de residuos agrícolas, en los cuales se encuentran el maíz, trigo, soya, papa, yuca, entre otros (Navia et al., 2011).

La cáscara de la *Manihot esculenta* es considerada como materia prima potencial en la obtención de bioplásticos debido a su presencia de almidón, utilizado para elaborar plásticos biodegradables usados en estado nativo o modificado (Enríquez et al., 2012). Briones & Riera. (2020), caracterizaron los residuos de la cáscara de yuca y de la cera de abeja como potenciales materiales de partida en la elaboración de bioplásticos. Efectuaron la hidrólisis ácida y alcalina sobre la formación de azúcares reductores totales (ART) en el almidón de

cáscara de yuca, cera de abeja y su residuo. Las características que se obtuvieron indican que el almidón puede emplearse como termoplástico. Los mejores resultados de los ART se obtuvieron para la hidrólisis alcalina, siendo el residuo de la abeja seguido del almidón de la cáscara de yuca los sustratos ideales para aquellos procesos fermentativos precursores de los biopolímeros.

1.3 Carbón activado

El carbón activado es un material a base de carbón que ha desarrollado un área de superficie alta y una estructura porosa interna (P. González, 2018), es ideal para ser utilizado en la eliminación de colorantes de soluciones acuosas (Beakou et al., 2017), purificación de agua (Paredes et al., 2018) y adsorción de metales pesados a partir de soluciones (Burakov et al., 2018). El uso de desechos agrícolas como precursores del carbón activado han resultado ser renovables y rentables económicamente (Hesas et al., 2013), es por eso que muchos investigadores emplean subproductos de origen vegetal para su producción (Yahya et al., 2015).

Ospino et al. (2022), prepararon carbones activados a partir de cáscara de yuca tratada mediante activación química con

hidróxido de potasio y ácido fosfórico para la elaboración de electrodos en supercondensadores, cuyo desempeño electroquímico fue obtenido mediante pruebas de voltametría cíclica y ensayos de carga-descarga galvanostática. Los resultados sugirieron que la cáscara de este tubérculo puede convertirse en un carbón activado con propiedades prometedoras, como lo reportaron Kayiwa et al. (2021), quienes estudiaron los efectos de caracterización y pre-lixiviado de seis variedades de cáscaras de yuca para la producción de carbón activado caracterizadas mediante análisis aproximado y último, densidad aparente, capacidad de retención de agua y composición lignocelulósica. En cuanto a la pre-lixiviación, se realizó utilizando hidróxido de sodio en concentraciones de 1 a 4% p/v, pero no mostró una reducción notable en el contenido de cenizas, aunque aumentó el rendimiento de materia volátil y carbón a bajas concentraciones con este hidróxido. Concluyen que con un pretratamiento alcalino requerido en aplicaciones donde se requieren altos rendimientos de carbón vegetal las variedades de yuca tienen potencial para la producción de carbón activado.

1.4 Producción de ácido cítrico

El AC en la actualidad hace parte de los ácidos más usados a escala industrial, fundamentalmente en las industrias alimenticias (70% del total) y farmacéuticas (12%) como agente preservante, saborizante y aditivo (Krupavathi & Mangala, 2015). En las últimas décadas se ha incrementado el interés por muchos investigadores en su obtención, mejoramiento de tecnologías existentes y búsqueda de nuevas aplicaciones, lo cual ha permitido lograr avances en la introducción de nuevos microorganismos, empleo de nuevos sustratos y diferentes parámetros de operación para aumentar su eficiencia (Pérez et al., 2018).

Rafaqat et al. (2016), realizaron un estudio en el que usaron materiales de base agrícola renovables (orujo de la manzana y cáscara de maní), es decir, desechos que son abundantes en la producción de AC enriquecido con fermentación en estado sólido (FES) a un nivel óptimo y se inocularon con *Aspergillus ornatus* y *Alternaria alternata* en medio agar inclinado de Vogel's, los datos analizados mostraron que en el periodo de fermentación la producción del ácido alcanzó su valor máximo (0,447 mg/mL) luego de 48 horas de incubación inicial. Se argumentó que, el periodo óptimo de crecimiento,

fermentación e incubación para un rendimiento mejorado varía tanto con el organismo de cultivo como con los sustratos de soporte del crecimiento y que al incubarse orujo de manzana se obtiene el rendimiento máximo de ácido cítrico.

Por otra parte, Ajala et al. (2020), produjeron AC a partir de cáscaras de yuca hidrolizadas y fermentadas con *Aspergillus niger* para evaluar el efecto de las condiciones de dos tipos de fermentación (sólida y sumergida), los factores dominantes para la producción del ácido fueron el tiempo y la concentración del inóculo, la cual al aumentarse a un 11% incrementa la producción de ácido cítrico. De acuerdo a los resultados obtenidos, el rendimiento en FES las primeras 96 horas fue de 4,9 g/l mientras que en fermentación sumergida (FS) fue de 1,86 g/l en 48 horas, ya que el aumento en el tiempo en FS no incrementó la producción, sino que la disminuyó, lo que sucedió en FES al llegar las 100 horas, de esta manera indicaron que la mejor alternativa para la producción de ácido cítrico a partir de fuentes agroalimentarias como la cáscara de yuca es en FES.

2). Afrecho o bagazo de yuca

El bagazo es obtenido durante la etapa de tamizado o colado de la yuca, donde se separa la pulpa del material fibroso, constituyendo el 10% de residuo de la yuca procesada. Este residuo contiene un elevado porcentaje de agua y residuos de almidón, debido a que, en la etapa de separación del almidón, se empapa en agua y, en estas condiciones, presenta un volumen mayor que la materia prima representado de un 61% a 90% de agua y un 11 % a 30% de almidón y fibra en peso seco (Araújo et al., 2020).

2.1 Producción de biodiésel y otros combustibles

La biorrefinación es un componente esencial para lograr una economía sostenible. Este enfoque emplea tecnologías de residuos y genera energía renovable (Andrade et al., 2021). La producción de esta energía ha tomado gran importancia para medir la conservación del medio ambiente y la eficiencia energética debido al incremento de la contaminación ambiental y problemas de seguridad energética (M. Ramírez et al., 2020).

Algunos residuos agroindustriales presentan un gran potencial para producir bioenergía a partir de biocombustibles como la biomasa energética, el biodiesel,

entre otros. Existen diversos tipos de combustibles: los sólidos, líquidos, de madera y agro combustibles (M. González, 2009). Muñoz et al. (2014), investigaron sobre la biomasa lignocelulósica para obtener energía, combustibles y biomateriales. Fue por esto que, evaluaron el aprovechamiento de residuos generados en los procesos agroindustriales los cuales son de gran utilidad en el ámbito mundial. Partieron de residuos como el bagazo de caña de azúcar, polvillo de fique, afrecho de yuca y sus mezclas, donde se evaluó el aprovechamiento de estos para la biorrefinería. Utilizaron seis muestras, las tres primeras equivalen al 100% del residuo y en las restantes utilizaron porcentajes diferentes y combinados de las materias primas antes mencionadas. Se determinaron características térmicas, propiedades específicas relacionadas con la combustión, análisis granulométrico, cantidades de polímeros y caracterización morfológica. Los resultados obtenidos indican que la muestra que tiene un gran porcentaje de afrecho de yuca se puede quemar en hornos domésticos y en calderas de menor potencia. Concluyeron que, esta muestra puede aprovecharse como biocombustible y/o biorrefinería. Así mismo, Debernardi (2018), utilizó 100% bagazo de caña de azúcar en la obtención

de biocombustible y observó que la capacidad calorífica de este residuo es alta y puede ser prometedor en el uso de diferentes procesos industriales.

2.2 Alimentación animal

La materia prima para la elaboración de concentrados o de cualquier otro tipo de alimento para los animales ha aumentado el precio, es por esto que existe la necesidad de buscar otras alternativas más económicas que posean el valor nutricional óptimo. Varios residuos agroindustriales presentan una composición química y física que permite utilizarlos con este fin. Algunos han sido usados para la fabricación de alimentos para rumiantes, cerdos, aves y otras especies (Saval, 2012).

Por otro lado, existe el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales por medio de la nutrición animal (Alzate et al., 2011). En una investigación realizada por Romero et al. (2017), utilizaron el afrecho de yuca determinando su digestibilidad in vitro, para evaluar las posibilidades de sustituir parcialmente el maíz en la alimentación de cerdos de engorde. Los resultados arrojaron que una inclusión del 30 % en la dieta de los porcinos es la ideal y es una buena alternativa en la

alimentación de cerdos en la etapa de crecimiento y de ceba, ya que no existió diferencia significativa en los indicadores productivos evaluados. Por otra parte, Agudelo et al., (2021) también evaluaron la posibilidad de sustituir en un 50% el maíz para la alimentación de codornices, pero en este caso, se usaron varios residuos agroindustriales: Harina de yuca, de arroz, arroz partido y afrecho de yuca, siendo este último el que proporciona bajos índices de desempeño productivo en sustitución al maíz.

De igual manera, Pereira et al. (2015), utilizaron el bagazo de yuca para la alimentación de vacas lecheras. Evaluaron la producción, composición de la leche e impactos de los costos de la dieta de bagazo de yuca al 10% y 15%. La dieta con el 15% proporcionó un aumento del 13,2 % en la producción comparado con el 10%. En la composición de la leche, la proteína cruda fue el único componente que cambió con la alimentación. Con el tratamiento del 15% generó un costo operativo más efectivo (42,8% más alto en comparación con el 10%) con mayor producción y punto de nivelación en el precio de la leche. Así mismo, C. Ramírez et al., (2012), utilizaron el bagazo de Agave tequilana W. var. Azu en raciones alimenticias para rumiantes.

Evaluaron las características físicas que dependen de los procesos de cocción y molienda de la fábrica de tequila de la cual provenga y su composición química, se hizo evidente la proporción mayoritaria de las fibras lignocelulósicas expresadas en un 77% en materia seca (celulosa, hemicelulosa y lignina). Confirmando que el bagazo de agave tiene potencial para ser utilizado en porciones alimenticias de rumiantes.

2.3 Panificación y productos panaderos

El afrecho de yuca es una fuente importante de fibra insoluble (86%), su uso como ingrediente en las dietas tiene efectos positivos en la fisiología, ya que ayuda al alivio del estreñimiento (Bussolo de Souza et al., 2014). Incorporarlo en productos de panadería como galletas puede traer consigo algunas ventajas: Dar un valor agregado, incrementar el contenido de fibra (M. García et al., 2016; Rua, et al., 2018; Martínez, et al., 2019) y brindar beneficios nutracéuticos como lo reportan (Auquiñivin y Castro, 2015; Gutiérrez et al., 2019). quienes enriquecieron galletas a nivel nutricional y de sabor a partir de una mezcla de cereales, leguminosas y tubérculos. El uso de materias primas fibrosas da como resultado masas con un comportamiento

más consistente debido al efecto que genera la fibra en la absorción de agua (Guadarrama et al., 2016). García et al. (2016), estudiaron el comportamiento viscoelástico con ayuda de un reómetro en masas de panadería formuladas con harina de trigo y afrecho de yuca; observaron la predominancia del módulo elástico sobre el módulo viscoso indicando características en las estructuras de las masas similares a sólidos.

M. García et al., (2016), caracterizaron afrecho húmedo y deshidratado de yuca para utilizarlo en la elaboración de galletas en niveles de inclusión de 10% y 20% de harina de trigo. Aplicaron una evaluación sensorial para seleccionar dos tipos de galleta de acuerdo a la formulación con y sin masa madre; realizaron los respectivos análisis mediante una prueba de ordenamiento simple y análisis de preferencia pareada simple, en la cual se obtuvo como resultado que la formulación de masa madre con afrecho deshidratado 10% fue la de mayor preferencia por los consumidores.

3). Hojas o follaje de yuca

La yuca se cultiva por sus raíces, mientras que las hojas se consideran principalmente como un subproducto. Estas son una fuente

rica de proteínas, minerales y vitaminas con las cuales se pueden elaborar harinas usadas tanto para el consumo animal y humano (Latif y Müller, 2015).

3.1. Consumo humano

El follaje de la yuca (FY) puede ser empleado en el consumo humano. Algunos países han implementado su consumo como verdura en diferentes platillos y brindan un aporte nutricional de más del 60% respecto las verduras consumidas. Sin embargo, presentan unos compuestos llamados glucósidos cianogénicos, los cuales son los más tóxicos para todos los organismos aeróbicos incluidos los humanos, debido a que a que el nivel de anti nutrientes varía según el estado de madurez, condiciones climáticas y variedad de yuca. Así mismo, algunos países están desarrollando nuevas tecnologías para eliminar estos compuestos tóxicos e incluir el FY en el consumo humano sin ningún peligro para proporcionar una fuente alta de alimentos inocuos y aumentar la seguridad alimentaria a nivel mundial (Latif y Müller, 2015;Garnica, 2017).

3.1. Harinas

El FY se puede utilizar para la alimentación de variedades animales como: Los pollos

de engorde, aves de postura, porcinos y bovinos, pero con porcentajes de diferentes concentraciones para no tener alteraciones en sus producciones diarias (Gil, 2015). Es por esto, que Herrera et al. (2019), utilizaron la harina de hojas de la yuca (HHY) en la dieta para pollos cuello desnudo, donde solo consumían del 9 al 12% de esta. Sugirieron que este porcentaje es el adecuado debido a que mejora la productividad y rentabilidad del pollo; como sucedió en Zacarias et al., (2012) y Almanza et al., (2019) donde el FY fue utilizado como pigmentante en dietas con harina de yuca y aceite de palma africana

para gallinas ponedoras. Determinaron que para mejorar la pigmentación de la yema del huevo y reducir los costos de la alimentación de las gallinas, se debía incluir 2.5% de HHY siendo la harina de yuca y la palma africana las fuentes básicas de almidón y lípidos para estas aves.

CONCLUSIONES

La industria de la yuca presenta una alta producción a nivel mundial generando residuos o subproductos de impacto positivo como negativo al medio ambiente debido a su disposición final. Gracias a su composición química estos residuos pueden ser reutilizados en diferentes alternativas para dar solución a problemáticas, ser incorporados en otros procesos y generar nuevos productos.

De acuerdo a la revisión bibliográfica, los subproductos más utilizados son cáscaras, hojas y bagazo de yuca. Las cáscaras pueden ser empleadas en el tratamiento de

aguas residuales, producción de bioplásticos, carbón activado y ácido cítrico debido a sus contenidos lignocelulósicos y de almidón, que junto con la fibra son de bastante interés para la producción de combustible, alimento animal, panificación y productos panaderos a partir del bagazo de la yuca. Por otra parte, el follaje o hojas gracias a su contenido nutricional busca incorporarse en el consumo humano como una verdura o en dietas de animales a través de harinas.

Así mismo, se resalta que es fundamental seguir investigando y actualizándose en

cuanto a lo relacionado a esta temática, ya que con el avance de la ciencia se tiene mayor facilidad para realizar procesos de innovación dando una mejor utilidad a los

desechos de esta prometedora cadena productiva.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la directora del semillero de investigación en aprovechamiento de residuos y bioprocesos agroindustriales (SINARBA) de la Universidad Francisco de Paula Santander Lexy Carolina León Castrillo por su arduo y

constante trabajo realizando las sugerencias y correcciones pertinentes en la redacción del artículo de revisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, H., Barraza, C., y Albis, A. (2017). Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 58–76. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8943>

Agudelo, F., Hurtado, V., y Torres, D. (2021). Ingredientes alternativos en la alimentación de codornices. *Agricolae & Habitat*, 4(1), 45–53. <https://doi.org/10.22490/26653176.4303>

Ajala, A., Adeoye, A., Olaniyan, S., y Fasoyin, O. (2020). A study on effect of fermentation conditions on citric acid production from cassava peels. *Scientific African*, 8, 2468–2276.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2468227620301344?token=8786F06705A1797BFA001C9D2B9CC35760C25F4C653DDA2252E903AD378F2652546DADDEE13F6E065EEBFF1885A6C52C&originRegion=us-east-1&originCreation=20211028211619>

Albis, A., López, A., y Romero, María. (2017). Remoción de azul de metileno de soluciones acuosas utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada con ácido fosfórico. *Prospectiva (Una Nueva Visión Para La Ingeniería)*, 15(2), 60–73. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4962/496254902008/496254902008.pdf>

Albis, A., Martínez, J., Sereviche, M., y García, J. (2016). Remoción de plomo de

soluciones acuosas usando cáscara de yuca modificada con ácido cítrico. *Avances Investigación En Ingeniería*, 13(1). <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/254/202>

Almanza H. Kevin, Navarro U. Miguel, Ruiz C. Javier (2019). Extracción de colorante en polvo a partir de la semilla de aguacate en variedades Hass y Fuerte. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 17 N° 1. Pp: 5 – 14.

Almendros, A., Martín, M., Ronda, A., Pérez, A., Blázquez, G., & Calero, M. (2015). Physico-chemical characterization of pine cone shell and its use as biosorbent and fuel. *Bioresource Technology*, 196, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.109>

Alzate, L., Jiménez, C., y Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción + Limpia*, 6(1), 108–127. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v6n1/v6n1a10.pdf>

Andrade, I., Santos, L., Bharagava, R., Nadda, A., Bilal, M., Tavares, R., y

Romanholo, L. (2021). Valorization of cassava residues for biogas production in Brazil based on the circular economy: An updated and comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100196.

<https://doi.org/10.1016/J.CLET.2021.100196>

Anyanwu, C., Ibetto, C., Ezeoha, S., y Ogbuagu, N. (2015). Sustainability of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as industrial feedstock, energy and food crop in Nigeria. *Renewable Energy*, 81, 745–752. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.075>

Araújo, L., Rorigues, R., Moreira, R., & Pessoa, R. (2020). Evaluation of the Potentiality of Maniocresidues (*Manihot esculenta* Crantz) in animal feeding. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 7(2), 2456–1908. <https://doi.org/10.22161/ijaers.72.41>

Arce, J., Rojas, A., y Poore, M. (2015). Efecto de la adición de pollinaza sobre las características nutricionales y fermentativas del ensilado de subproductos agroindustriales de yuca (*Manihot esculenta*). *Agronomía Costarricense*, 39(1), 131–140.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43638524010>.

Aristizábal, V. (2015). *Producción de biocombustible de avión a partir de residuos agroindustriales a través de una plataforma de furfural*.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54008/1059812746.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Auquiñivin, E., y Castro, E. (2015). Elaboración de galletas enriquecidas a partir de una mezcla de cereales, leguminosas y tubérculos. Chachapoyas, región Amazonas. *Industrial Data*, 18(1), 84–90.
<https://www.redalyc.org/pdf/816/81642256009.pdf>

Beakou, B., el Hassani, K., Houssaini, M., Belbahloul, M., Oukani, E., y Anouar, A. (2017). Novel activated carbon from Manihot esculenta Crantz for removal of Methylene Blue. *Sustainable Environment Research*, 27(5), 215–222.
<https://doi.org/10.1016/J.SERJ.2017.06.003>

Briones, J., y Riera, M. (2020). Residuos de la cáscara de yuca y cera de abeja como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos. *Avances En Química*, 15(1), 3–11.
<https://www.researchgate.net/publication/34>

2107218_Residuos_de_la_cascara_de_yuca_y_cera_de_abeja_como_potenciales_materiales_de_partida_para_la_produccion_de_bioplasticos

Burakov, A., Galunin, E., Burakova, I., Kucheroval, A., Agarwal, S., Tkachev, A., & Gupta, V. (2018). Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 702–712.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2017.11.034>

Bussolo de Souza, C., Roeselers, G., Troost, F., Jonkers, D., Koenen, M., y Venema, K. (2014). Prebiotic effects of cassava bagasse in TNO's in vitro model of the colon in lean versus obese microbiota. *Journal of Functional Foods*, 11(C), 210–220.
<https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.09.019>

Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., y Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132.
<https://doi.org/10.24188/RECIA.V9.NS.2017.530>.

Debernardi, H. (2018). Energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agro Productividad*, 9(7), 68–73. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/792>

Del Río, Lady, y Grande, C. (2021). Valorización de residuos industriales en la producción de almidón de yuca. *Prospectiva*, 19(2). <https://doi.org/10.15665/rp.v19i2.2556>

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2016, April). *Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. DANE. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2016.pdf

Elías, R. (2015). Mar del plástico: Una revisión del plástico en el mar. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, 27, 83–105. <https://aquadocs.org/handle/1834/10964>

Enríquez, M., Velasco, R., y Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182–192.

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

García, A., Figueroa, J., Salcedo, J., y de Paula, C. (2016). Viscoelasticidad en masas de panadería formuladas con harina de trigo y afrecho de yuca. *Agronomía Colombiana*, 1, 367–370. https://www.researchgate.net/publication/313108137_Viscoelasticidad_en_masas_de_panaderia_formuladas_con_harina_de_trigo_y_afrecho_de_yuca.

García, C., Salcedo, J., y Alvis, A. (2018). Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 62–67. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.625>

García, M., Salcedo, J., y Hernández, E. (2016). Utilización de afrecho de yuca en galletas. *Vitae, Supl. Supplement 1*, 1, 250–254. <https://www.proquest.com/openview/599ffa7209ea07036a87bc7b647f0bee/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>

Garnica R., Derlys. (2017). Procesos emprendedores e innovadores, como resultado de la gestión del conocimiento. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología*

Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 15
Nº 2. Pp: 86 -96.

Gavilanes, I., Jara, J., Idrovo, J., Bustamante, Á., Moral, R., y Paredes, C. (2015). Windrow composting as horticultural waste management strategy –A case study in Ecuador. *Waste Management*, 48, 127–134.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.026>

Gil, J. (2015). *Módulo 3: Uso de la yuca en alimentación animal*.
https://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/cartilla_modulo_3_yuca_alimentacion_animal.pdf.

Goncalves, A., Nacke, H., Schwantes, D., y Ferreira, G. (2014). Heavy Metal Contamination in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers. In *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination* (pp. 105–135). InTech.
<https://doi.org/10.5772/57268>

González, M. (2009). Producción de bioenergía en el norte de México: Tan lejos y tan cerca. *Frontera Norte*, 21(41), 177–183.
<https://www.redalyc.org/pdf/136/13604108.pdf>.

González, P. (2018). Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1393–1414.

<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.04.117>.

Guadarrama, A., Carrillo, H., Pérez, C., Vernon, E., y Álvarez, J. (2016). Thermal and rheological properties of sponge cake batters and texture and microstructural characteristics of sponge cake made with native corn starch in partial or total replacement of wheat flour. *LWT*, 70, 46–54.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.02.031>

Gutiérrez V. Gloria, Muñoz C. Johana, Carrascal P. María, Camacho Lody. (2019). Elaboración de pan gourmet a base de corozo y manzana. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125, 17 (1), pp: 24 -41.

Harijono, Pulungan, M., Muchlisyyah, J., Tanti, E., y Estiasih, T. (2017). Chemical Characteristics of Biscuit Substituted by Modified Cassava Product (Mocap) Flour from High Cyanide Variety of Cassava. *Research Journal of Life Science*, 4(2), 97–105. <https://doi.org/10.21776/UB.RJLS>.

Herrera, M., Solís, T., Godoy, V., y Benítez, M. (2019). Meal of cassava (*Manihot esculenta crantz*) leaves in diets for naked neck broilers (Gen Nana). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1), 59–64. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v53n1/2079-3480-cjas-53-01-59.pdf>.

Hesas, R., Arami, A., Wan, W., y Sahu, J. (2013). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Apple Waste by Microwave-Assisted Phosphoric Acid Activation: Application in Methylene Blue Adsorption. *BioResources*, 8(2), 2950–2966.

https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_08_2_2950_Hoseinzadeh%20Hesas_Activated_Carbon.

Kayiwa, R., Kasedde, H., Lubwama, M., y Kirabira, J. B. (2021). Characterization and pre-leaching effect on the peels of predominant cassava varieties in Uganda for production of activated carbon. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100083. <https://doi.org/10.1016/J.CRGSC.2021.100083>.

Krupavathi, M., y Mangala, D. (2015). Production of citric acid - A short review. *International Journal of Development Research*, 5(4), 4002–4006.

<http://www.journalijdr.com/sites/default/files/issue-pdf/3120.pdf>.

Latif, S., y Müller, J. (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 44(2), 147–158. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.04.006>

Liao, S.-W., Lin, C.-I., y Wang, L.-H. (2011). Kinetic study on lead (II) ion removal by adsorption onto peanut hull ash. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(1). <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.04.009>.

López, J., Cuarán, J., Arenas, L., y Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 7–21. <https://doi.org/10.23850/24220582.109>

Martínez, Carlos; Valderrama, Cesar; Cano, Indira; Rivera, José A. (2019). Elaboración de un pan con adición de flores comestibles. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 17 N° 2. Pp: 26 – 44.

Moshi, A., Temu, S., Nges, I., Malmö, G., Hosea, K., Elisante, E., y Mattiasson, B. (2015). Combined production of bioethanol and biogas from peels of wild cassava

Manihot glaziovii. *Chemical Engineering Journal*, 279, 297–306.
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2015.05.006>

Muñoz, D., Pantoja, A., y Cuatin, M. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 10–19.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200002

Navia, D., Ayala, A., y Villada, H. (2011). Isotermas de adsorción de bioplásticos de harina de yuca moldeados por comprensión. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 77–87.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a10.pdf>

Ospino, J., Parra, J., Cervera, S., Coral, E., y Vargas, O. (2022). Activated carbon from cassava peel: A promising electrode material for supercapacitors. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 102, 88–95.
<https://doi.org/10.17533/UDEA.REDIN.20200803>

Pacheco, G., Flores, N., & Rodríguez, R. (2014). Bioplásticos. *BioTecnología*, 18(2), 27–36. [https://smbb.mx/wp-](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2014_V18_N2.pdf)

[content/uploads/2017/10/Revista_2014_V18_N2.pdf](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2014_V18_N2.pdf).

Paredes, L., Alfonsin, C., Allegue, T., Omil, F., y Carballa, M. (2018). Integrating granular activated carbon in the post-treatment of membrane and settler effluents to improve organic micropollutants removal. *Chemical Engineering Journal*, 345, 79–86.
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2018.03.120>

Pereira, L., Mattos, C., Ferreira, F., Vieira, A., Andrade, F., y Nunes, P. (2015). Milk production and economic assessment of cassava bagasse in the feed of dairy cows. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37(3), 307–313.
<https://doi.org/10.4025/ACTASCIANIMSCI.V37I3.26947>.

Pérez, A., Benítez, I., López, Y., Eduardo, G., y Rodríguez, A. (2018). Perspectivas para la Producción de Ácido cítrico. *TAYACAJA*, 1(1), 8–16.
<https://doi.org/10.46908/rict.v1i1.2>

Rafaqat, S., Anwar, Z., Irshad, M., Mukhtar, S., y Warraich, N. (2016). Biosynthesis of citric acid from single and co-culture-based fermentation technology using agro-wastes. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1), 57–62.

<https://doi.org/10.1016/J.JRRAS.2015.09.003>

Ramírez, C., Alonso, M., y Rigal, L. (2012). Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 449–457. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2011.08.059>

Ramírez, M., Güereca, L., Sosa, F., y Cobos, M. (2020). Environmental assessment of energy production from anaerobic digestion of pig manure at medium-scale using life cycle assessment. *Waste Management*, 102, 85–96. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.10.012>

Riera, M., Maldonado, S., y Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 227–247. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7170984&info=resumen&idioma=ENG>

Ríos, P. Cindy, Maldonado M. Lida. Y., Caballero P., Luz A., (2016). Bebida fermentada a base de arroz con adición de probióticos. Norte de Santander. *Revista*

@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN: 1692-7125. Volumen 14 N°1. Pp.58 -73.

Romero, R., Alcívar, E., y Alpízar, J. (2017). Afrecho de yuca como sustituto parcial del maíz en la alimentación de cerdos de engorde. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*, 0(0), 54–61. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.974

Rua, Diana M., Sepúlveda, Angie C., Camacho, Buitrago Lody. (2018). Elaboración de pan de centeno. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 16 N° 2. Pp: 5 -17.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería*, 16(2), 14–46. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf

Schwantes, D., Gonçalves, A., Casarin, J., Pinheiro, A., Gohr, I., y Ferreira, G. (2015). Removal of Cr (III) from contaminated water using industrial waste of the cassava as natural adsorbents. *African Journal of Agricultural Research*, 10(46). <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9835>.

Tejada, C., Montiel, Z., y Acevedo, D. (2016). Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II). *Información Tecnológica*, 27(1), 9–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100003>.

Vargas, Y., y Pérez. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>.

Versino, F., López, O., y García, M. (2015). Sustainable use of cassava (*Manihot esculenta*) roots as raw material for biocomposites development. *Industrial Crops and Products*, 65, 79–89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669014007626?via%3Dihub>

Yahya, M., Al, Z., y Zanariah, C. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218–235. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.02.05>

Yang, M. (2011). A Current Global View of Environmental and Occupational Cancers. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 29(3). <https://doi.org/10.1080/10590501.2011.601848>

Zacarias, J., Bicudo, S., y Valdivie, M. (2012). Harina de follaje de yuca como pigmentante de dietas con harina de yuca y aceite de palma africana para gallinas ponedoras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(2), 187–191. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193024447012.pdf>