

Alternativa biotecnológica para suplementación bovina mediante ensilado de mango en el departamento del Atlántico, Colombia

Biotechnology alternative for bovine supplementation by mango silage in the department of Atlántico, Colombia

Gerardo Ramón Gómez-Peña ¹, Oscar Fabián Guzmán-Nariño ², Ilba Burbano-Caicedo ^{3*}

¹Universidad Libre de Colombia Seccional Barranquilla. ✉ g2gomez_29@hotmail.com.

²Universidad Libre de Colombia Seccional Barranquilla. ✉ oscarguzman1064@hotmail.com.

³Universidad Libre de Colombia Seccional Barranquilla. ✉ ilba.burbano@unilibre.edu.co. *Autor para correspondencia

Recibido: 14.08.2019 / Aceptado: 02.05.2020

Resumen El objetivo de esta investigación fue sustentar conceptual y metodológicamente la importancia del aprovechamiento de los desechos de mango mediante biotecnología tradicional para la obtención de un suplemento dirigido a alimentación bovina. El estado actual del uso de la biotecnología tradicional frente a la valorización de los desechos de mango, mostró que, a nivel internacional, estos desechos son empleados principalmente en alimentación animal (23%), compuestos bioactivos (20%), industria de alimentos y biocombustibles (17%). En Colombia, particularmente en la región Caribe, las investigaciones se centraron en encontrar soluciones alternativas para la nutrición animal, debido a que estos residuos no estaban siendo utilizados de forma eficiente. En cuanto a las regiones colombianas cuya actividad económica no es la ganadería, las opciones en investigación estuvieron encaminadas al aprovechamiento energético, biocombustibles, productos farmacéuticos, cosméticos y nutricionales. No se encontraron patentes relacionadas a la producción de alimento animal a partir de residuos de mango. A continuación, se realizó una caracterización del residuo de mango a través de un análisis proximal para confirmar el contenido nutricional en términos de proteína, fibra y cenizas contrastándolo con la melaza de caña y poder presentar una opción de suplementación bovina. Se encontró que la pasta de mango tenía valores nutricionales muy superiores a la melaza de caña (7.19 de proteína, 11.85 de fibra cruda y 3.11 de extracto etéreo). Hoy en día existen variedades de posibilidades para desarrollar aplicaciones tecnológicas, como, por ejemplo, el ensilado de los residuos de mango, con ello se fortalecería la competitividad de este sector y su inserción en el mercado internacional. La cadena agroalimentaria del mango es muy importante a nivel regional y pensar en su desarrollo, en el que la biotecnología es una de las tecnologías recurrentes permitiría encarar un proceso de desarrollo de este territorio, con implicaciones sociales y económicas.

Palabras clave: Aprovechamiento de recursos; Biotecnología; Desperdicio agrícola; Industrialización inclusiva y sostenible; Innovación; Nutrición animal; Producto agrícola; Tecnología tradicional.

Abstract The aim of this research was to sustain conceptually and methodologically the importance of using mango waste through traditional biotechnology to obtain a supplement aimed at bovine feeding. The current state of the use of traditional biotechnology versus the recovery of mango waste, showed that, internationally, these wastes are mainly used in animal feed (23%), bioactive compounds (20%), the food industry and biofuels (17%). In Colombia, particularly in the Caribbean region, research focused on finding alternative solutions for animal nutrition, since these wastes were not being used efficiently. Regarding the Colombian regions whose economic activity is not livestock, the research options were aimed at the use of energy, biofuels, pharmaceuticals, cosmetics and nutrition. No patents were found related to the production of animal feed from mango residues. Then, a characterization of the mango residue was carried out through a proximal analysis to confirm the nutritional content in terms of protein, fiber and ash contrasting it with cane molasses and to be able to present a bovine supplementation option. Mango paste was found to

have much higher nutritional values than cane molasses (7.19 for protein, 11.85 for raw fiber and 3.11 for ethereal extract). Today there are diverse possibilities to develop technological applications, such as, the silage of mango residues, thereby strengthening the competitiveness of this sector and its insertion in the international market. The mango agrifood chain is very important at the regional level and thinking about its development, in which biotechnology is one of the recurring technologies would allow to face a process of development of this territory, with social and economic implications.

Keywords: Animal nutrition; Agricultural product; Agricultural waste; Biotechnology; Inclusive and sustainable industrialization; Innovation; Traditional technology; Use of resources.

Introducción

En la región Caribe, el departamento del Atlántico, según las cifras de Agronet para el año 2017, se cultivaron alrededor de 2956 hectáreas, con una producción anual de 35059 toneladas, lo que lo posiciona como el tercer departamento del país proveedor de mango, representando el 13% de la producción nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica (actualmente AGROSAVIA), menciona que la variedad criolla hilacha (conocida también como brechoso, puerco, hebra, hilaza, común y manga), predomina en el mercado de pulpas donde Colombia ha adquirido una exitosa posición (García et al, 2010).

El mango presenta una problemática de control de patógenos, especialmente el de la mosca de la fruta que aumenta con los desperdicios de fruta con alto nivel de azúcar como es el caso de esta fruta. Ante la cantidad de desperdicio que se genera en las zonas productoras de mango, algunos campesinos, especialmente pequeños productores, usando sus conocimientos ancestrales (biotecnología tradicional), desarrollan diversas alternativas de reconversión de estos residuos para integrarlos a los diferentes sistemas productivos ganaderos de la región. Es decir, se deben analizar todas las opciones posibles para utilizar estos residuos de mango, que en algunas zonas del departamento del Atlántico se constituyen en una problemática ambiental por carecer de posibilidades de mercado y dar al campesino de la zona en estudio, la posibilidad de utilizarlas para mejoramiento de la nutrición ganadera.

Es así como esta investigación tuvo como objetivo analizar las alternativas biotecnológicas que existen en la literatura científica para confrontar con las condiciones que existen en el departamento del Atlántico, presentar las mejores opciones para hacer un uso eficiente de este desperdicio agrícola y generar un valor agregado.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio con dos unidades de análisis para conducir a inferencias, mediante dos metodologías que dieran respuesta a cada objetivo planteado, así: i) el estado del arte de la futura innovación, ii) las características de la nueva innovación.

Para el desarrollo del estado del arte, se utilizó la metodología de revisión documental, haciendo uso de bases de datos especializadas para identificar las investigaciones del tema propuesto, para este caso innovaciones realizadas con mango (cáscara, pulpa y semilla, ya sea de forma individual o combinadas) usando biotecnología tradicional y construir un análisis de base teórica que verificara el estado de la cuestión a nivel de los escritos científicos. Esta metodología se dividió en dos partes, búsqueda y selección de los artículos, patentes y literatura gris y posteriormente la integración de la información.

Para el objetivo dos, la metodología usada fue el modelo descriptivo transversal en época de cosecha de mango; se caracterizaron los componentes de una pasta que incluyó cáscara, pulpa y semilla, base de una innovación a proponer. Se describieron las variables con

ayuda de pruebas de laboratorio especializadas en nutrición animal y luego se verificó su interrelación enfrentándolo a las características del producto competidor en el mercado actual, la melaza de caña.

Herramientas metodológicas para el estado del arte de la futura innovación

Para identificar los documentos de trabajo y las investigaciones de desarrollo tecnológico relacionadas con la utilización de los residuos agroindustriales del mango, se estableció una búsqueda tanto de artículos científicos en distintas bases de datos, como de patentes y literatura gris. Dicha exploración se realizó manejando unos criterios de inclusión y de exclusión, previamente establecidos y una ruta de búsqueda para cada base de datos electrónica.

La estrategia de búsqueda de la información se elaboró mediante la utilización y combinación de los descriptores del tesoro multilingüe de agricultura Agrovoc: “*agricultural wastes*”, “*plant residues*”, “*mango*”, “*mangífera indica*”. La búsqueda se dirigió a localizar artículos científicos que describieran los usos que se le están dando a los residuos agroindustriales del mango. No se realizaron restricciones acerca del idioma. El periodo de búsqueda abarcó los últimos, cinco años para las bases de datos y diez años para literatura gris y patentes.

Se realizó una búsqueda exploratoria, dirigida a localizar artículos científicos que describieran los usos biotecnológicos a los residuos de la cadena del mango usando para tal fin las bases de datos Scopus y Biblioteca Virtual Pro. De igual manera, se incluyó literatura obtenida del buscador Google Académico, seleccionando trabajos de grado de maestría o pregrado, working paper, libros, documentos de congresos e incluso trabajos que no se encontraran publicados en revistas indexadas. En cuanto a las bases de datos de patentes se utilizaron Pat Base y Google Patents. La ruta de búsqueda empleada fue la siguiente:

- **Scopus:** TITLE-ABS-KEY(agricultural AND wastes) OR TITLE-ABS-KEY(plant AND residues) AND TITLE-ABS-KEY(mango) OR TITLE-ABS-KEY(Mangifera AND indica)) AND PUBYEAR>2013
- **Biblioteca Virtual Pro:** desechos agrícolas del mango
- **Google Patents:** subproductos del mango
- **Pat Base:** mango bioproducts

El proceso de selección de la literatura científica comenzó con la fase de elegibilidad, definida a partir de aplicar criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Para los primeros (de inclusión) se definieron que los artículos describieran los usos de los residuos provenientes del procesamiento del mango, entendiéndose por “uso” al manejo de los mismos para obtener productos como biocombustibles, productos farmacéuticos, cosméticos, nutrición animal, etc.

Para los segundos (de exclusión) se especificaron aquellos artículos que no describieran los usos de los residuos de mango y artículos científicos cuyo texto completo no se pudiera recuperar. En el proceso de tamización inicial se empleó el software Zotero, con el cual se eliminaron los artículos duplicados que se pudieran encontrar presentes en las bases de datos.

Inicialmente se realizó un análisis cuantitativo revisando aspectos que permitieran graficar la cantidad de artículos y temáticas investigadas relacionando los países involucrados. Se determinaron los aspectos relevantes del uso de mango empleando biotecnología tradicional mediante la lectura de los resúmenes y conclusiones de dichos artículos. El análisis se proyectó para construir el estado del arte de la futura innovación la cual está basada en el uso de residuos de mango para alimentación animal.

Herramientas metodológicas para las características de la nueva innovación

Para la determinación de los componentes de la pasta de mango (cáscara, pulpa y semilla), se recolectaron muestras de mango de desecho para posteriormente ser enviadas al laboratorio de Agrosavia, ubicado en el departamento de Córdoba. Se realizó análisis proximal obteniéndose información de cinco parámetros: i) materia seca, ii) cenizas, iii) extracto etéreo, iv) proteínas y v) fibra cruda.

Para este caso, el análisis proximal del residuo de mango se define como la información de las características del mango común cuando se cae al suelo, producto de una mala práctica al cosechar, por deficiencia tecnológica o por abundancia en la cosecha. Estas frutas fueron lavadas y molidas de acuerdo a los procedimientos tradicionales, utilizando un molino de martillo y posteriormente empacadas en bolsas Brix con capacidad de 500 g. Se hicieron cuatro réplicas, las cuales fueron previamente refrigeradas en un recipiente hermético antes de ser enviadas al laboratorio especializado.

Posteriormente se procedió a realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos con la pasta de residuos de mango y la melaza de caña. Para este último elemento, se usaron los componentes reportados en la literatura científica. La melaza de caña es un producto final de la fabricación o refinación de la sacarosa procedente de la caña de azúcar y es usado comúnmente en la suplementación de vacas lecheras.

Resultados y discusión

La búsqueda de artículos mediante las rutas que se describen en la metodología, arrojó un total de 248 (en Scopus 91, y en la base de datos Biblioteca Virtual Pro 157). No se identificaron artículos científicos repetidos; inicialmente se estudiaron doscientos 248 artículos con base en el título y resumen. Se descartaron 206 artículos al no cumplir con el criterio

de inclusión (descripción de los usos de los desechos provenientes del procesamiento del mango). Se excluyeron 19 del análisis por no ser posible recuperar su texto completo.

Como literatura gris se seleccionaron 19 trabajos de investigación. No se encontraron patentes relacionadas con la producción de alimentos para animales, sin embargo, se hallaron dos (2) en temas relacionados. Una patente se refería a la obtención y uso de un extracto de semillas de mango; la otra patente, reseñaba el uso de extracto de hoja de mango (*Mangifera indica*), para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, ambas patentes se diseñaron con biotecnología moderna. Finalmente, se incluyeron para el análisis 23 artículos científicos y 19 trabajos de literatura gris, resultando un total 42 documentos (Figura 1).

Estado actual del uso de la biotecnología tradicional frente a la valorización del residuo de mango a nivel internacional

La revisión de los artículos internacionales presentó una mayor inclinación hacia la utilización de los desechos del mango como base para la fabricación de compuestos para alimentación animal (siete estudios). Se observaron, además, otras temáticas donde el mango fue usado en la industria de alimentos (cinco estudios), en compuestos bioactivos (seis estudios), para producción de biocombustibles (cinco estudios), como biorremediación (cinco estudios). Otros temas como cosmética y energía, constituyeron el resto de los artículos analizados. Los artículos se clasificaron de acuerdo al uso biotecnológico destinado (Figura 2): i) alimentación animal (23%); ii) compuestos bioactivos (20%); iii) industria de alimentos (17%); iv) biocombustibles (17%); v) biorremediación (17%); vii) energía (3%) y viii) cosméticos (3%). El tema del uso de mango en alimentación tanto para animales como para humanos (primer enfoque del análisis de la literatura) fue el principal tema abordado por

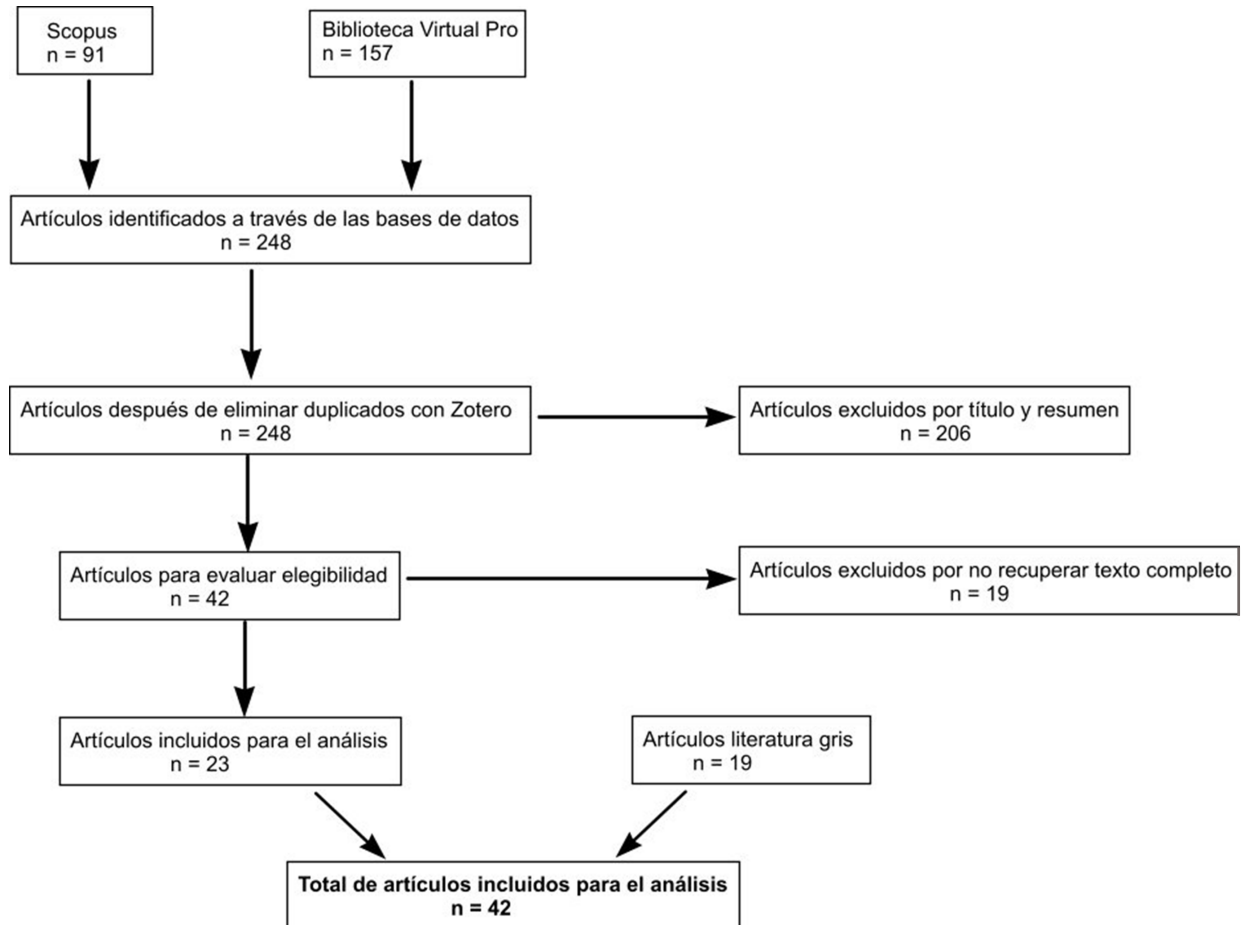


Figura 1. Flujograma del proceso de recolección de la información de los artículos científicos. *Elaboración propia.*

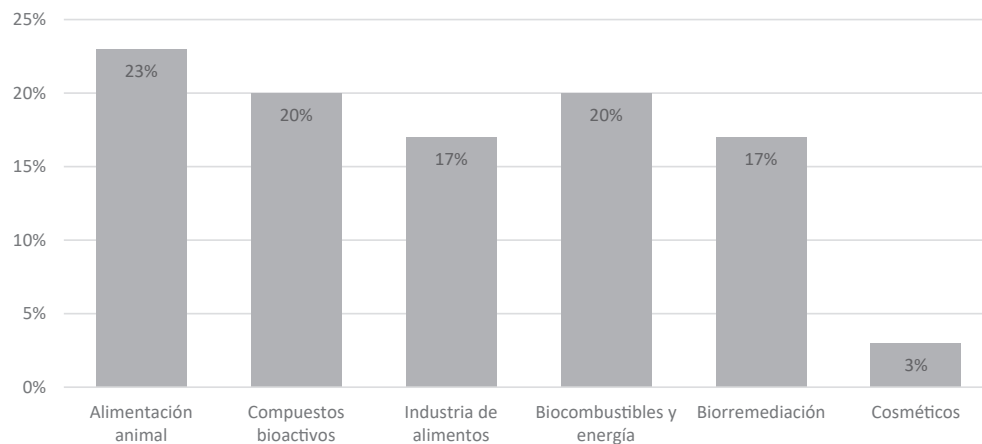


Figura 2. Estado actual en investigación internacional sobre residuos de mango. *Elaboración propia.*

los documentos seleccionados. En cuanto al uso del mango en alimentación animal, los artículos estaban principalmente orientados a la producción de ensilados (Tabla 1).

En lo que respecta a los esquilmos o rastrojos de cultivos de otras frutas (piña, uva, plátano, cítricos y manzana) que también se mencionan, se advierte de la presencia de taninos al usar la semilla de mango, y el método para neutralizarlos al colocarla en remojo (Orozco-Corral, 2015). Por su parte, Couto-Filho et al (2007) recomendaron adicionar al ensilaje cáscara de frijol y residuos del café en niveles del 20 al 30%, lo cual produciría un patrón de fermentación satisfactorio, sin que se comprometiera la calidad del ensilado.

Resaltando lo propuesto por Silva et al (2016), de realizar un doble molido de toda la fruta (cáscara, pulpa y semilla), deshidratarla al sol por 48 horas y nuevamente molerla hasta que alcance un tamaño menor a 10 mm, con el fin de reemplazar la harina de maíz por harina de mango en dietas de cabras lecheras. Lo interesante de esta investigación fue que se concluyó que la harina integral de mango produjo una disminución lineal en la cantidad de gas producido a partir de la fermentación de carbohidratos totales y fibrosos. Los autores lo

atribuyeron a que la harina de mango contribuyó a aumentar el contenido de lignina en la dieta, disminuyendo así mismo la fermentación ruminal y la producción de gas.

García et al (2015), expusieron la importancia de priorizar áreas de investigación en el tema del uso de ensilaje con residuos de frutas, especialmente el desarrollo de inoculantes para ensilaje que funcionen en condiciones de alta humedad y temperatura para producir con alta eficiencia ácidos orgánicos y reducir el pH con fines de conservación. La biotecnología podría colaborar en la eficiencia y rentabilidad de estos residuos particularmente en zonas tropicales y subtropicales.

Un enfoque secundario de la literatura analizada corresponde a la utilización de los residuos de mango en la producción de compuestos bioactivos (Tabla 2), la cual se centró en la adición del extracto de las cáscaras de mango en películas de gelatina de pescado a concentraciones de 1-5% como material potencial para el envasado de los alimentos. Por su parte, las semillas, cáscara y la pulpa de mango tenían la capacidad de inhibir la oxidación mediada por radicales peróxido y evitaba de este modo la rancidez oxidativa de los alimentos (Dorta et al., 2017).

Tabla 1. Uso de residuos de mango para alimentación animal.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
1997	Aguilera et al.	Digestibility and fermentative characteristics of mango, lemon and stover silages with or without addition of molasses and urea	Artículo	(Cáscara, pulpa y semilla) Mango en estado semimaduro	Melaza 2,5% y urea 2%
2006	Couto-Filho et al	Qualidade da silagem de residuo de manga con diferentes aditivos	Artículo	Pulpa y cáscara	Maíz, paja de frijol, cáscara de café
2010	Guzmán et al	Ensilado de residuos de mango (<i>M. indica</i> L.) para la alimentación animal. Características fermentativas	Artículo	(Cáscara y semilla) (Cáscara, semilla y pulpa)	Melaza 2% y urea 3%
2012	Guzmán et al	Características químicas del ensilado de residuos de mango (<i>M. indica</i> L.) destinado a la alimentación animal	Artículo	(Cáscara y semilla) (Cáscara, semilla y pulpa)	Melaza 2% y urea 3%
2015	Orozco-Corral	Esquilmos frutales para alimento de los animales	Trabajo de grado	Cáscara y semilla	No
2015	García et al	Nutrición animal en sistemas tropicales: Uso de residuos agrícolas en la producción animal	Ponencia en Congreso	Resumen de usos, mención de varios autores	No
2016	Silva et al	Replacement of corn with mango meal for dairy goats	Artículo	(Cáscara, pulpa y semilla)	No

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Estado del arte internacional del uso de residuos de mango para elaboración de compuestos bioactivos.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
2015	Shitu et al	Sub-critical water as a green solvent for production of valuable materials from agricultural waste biomass: A review of recent work	Artículo	Cáscara	No
2016	Patil et al	Micro fibrillated cellulose-reinforced nonedible starch-based thermoset bio composites	Artículo	Semillas	No
2018	Okino-Delgado et al	Brazilian fruit processing, wastes as a source of lipase and other biotechnological products: a review	Artículo	Cáscara y pulpa	No
2018	Ruales et al	Biological Active Ecuadorian Mango 'Tommy Atkins' Ingredients—An Opportunity to Reduce Agro waste	Artículo	Cáscara y semilla	No
2018	Nadar et al	A co-immobilization of pectinase and cellulase onto magnetic nanoparticles for antioxidant extraction from waste fruit peels	Artículo	Cáscara	No
2018	Mouho et al	Valorizations of <i>M. indica</i> crop biomass residues	Artículo	Corteza y tallo	No

Fuente: Elaboración propia

Otra característica importante de los desechos del mango, es la posibilidad de convertirlos en subproductos como biomoléculas de alto valor, como las lipasas, pues estas enzimas son muy demandadas en el mercado actual. La producción de estas lipasas presentaron una actividad óptima en el aceite de oliva con pH ácido a neutro y temperaturas hasta 51°C (Okino-Delgado et al., 2018).

El tercer enfoque de la literatura analizada corresponde a la utilización de los residuos de mango en la producción de biocombustible (Tabla 3). Andrade et al (2016) señalan que el uso de la biomasa lignocelulosa en la producción de biocombustibles a partir de la cáscara de la semilla de mango tiene potencial para la producción de biocombustibles, debido a su volatilidad

(94%) y baja formación de ceniza (0,9%). Las condiciones de operación fueron las siguientes: temperatura de 500°C para la generación de productos líquidos y 350°C fue la condición más selectiva para la producción de furfural, un aldehído de gran importancia industrial, derivado de materiales lignocelulósicos.

Por su parte, la conversión de los residuos del mango en metano, mediante la digestión anaerobia es un proceso en el que participan varios grupos de microorganismos que llevan a cabo un mecanismo en cuatro etapas: la primera es la hidrólisis, donde la materia orgánica es fermentada a monómeros sencillos; la segunda es la acidogénesis, que produce ácidos orgánicos; la tercera es la acetogénesis, caracterizada

Tabla 3. Estado del arte internacional sobre el manejo de los desechos de mango utilizados en la elaboración de biocombustibles.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
2015	González-Sánchez et al	Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia	Artículo	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No
2016	Andrade et al	Thermo-chemical behavior and product formation during pyrolysis of mango seed shell	Artículo	Semilla	No
2016	Rumple et al	Densified mango residues as biofuel from low-resource agricultural processing	Artículo	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No
2017	Dou and Goldfarb	In situ upgrading of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbents for water treatment	Artículo	Semilla	No
2017	Carrillo-Nieves et al	Process alternatives for bioethanol production from mango stem bark residues	Artículo	Corteza	No

Fuente: Elaboración propia

por la formación de acetatos, propionatos y butiratos y por último, la metalogénesis, donde microorganismos producen metano a través de la ruta acetotrófica e hidrógeno trófica (González-Sánchez, et al, 2015).

El cuarto enfoque de la literatura analizada corresponde a la utilización de los residuos de mango en biorremediación (Tabla 4). Respecto a la contaminación por hidrocarburos, es importar señalar el potencial de los aceites de las semillas del mango, como fuente de carbono para el crecimiento de microorganismos degradadores de hidrocarburos, pues estos residuos son ricos en carbohidratos y lípidos necesarios para el crecimiento del consorcio. El cultivo de una especie de *Bacillus* comercialmente importante, utilizando cáscaras de mango para reconocer medios de crecimiento económicamente factibles y de bajo costo para aumentar la producción de productos de valor agregado (Valdivia-Rivera et al, 2019).

Actualmente, los polímeros sintéticos se utilizan ampliamente en muy diversas aplicaciones. Sus propiedades más críticas durante su uso son el peso molecular y la estabilidad química, que dificultan su degradación por los microorganismos y persisten durante mucho tiempo en la naturaleza después de su eliminación (Marjadi y Dharaiya, 2011, citado por Ballesteros 2014). Otro inconveniente de estos polímeros son los monómeros utilizados

para sintetizarlos, ya que están basados en el petróleo, lo cual es conocido como un producto no sostenible. Aunque últimamente el empleo del almidón de maíz, arroz, trigo y papa ha recibido una atención especial por su biodegradabilidad y economía, persiste el problema ético del empleo de almidones comestibles para aplicaciones no alimentarias, debido a sus valores nutricionales. No obstante, el potencial de los desechos agrícolas de las semillas del mango para crear resinas termoestables no comestibles, alcanzan a presentar propiedades térmicas y de tracción comparables a los compuestos basados en almidón comestible y las elaboradas a base de petróleo, con miras al reemplazo de estas últimas (Patil and Netravali, 2016).

Otro uso interesante es el empleo del aceite de la semilla de mango como sustrato en cultivos de *Pseudomonas aeruginosa* para la producción de ramnolípidos (tensos activos microbianos producidos por este microorganismo sobre diferentes sustratos). Estos ramnolípidos poseen actividad anti fúngica contra diversos patógenos, convirtiéndose en una alternativa verde a los agroquímicos dañinos, pues los biosurfactantes derivados de microorganismos presentan diversos beneficios sobre sus contrapartes químicas, como una menor toxicidad, mayor biodegradabilidad, alta especificidad y mayor estabilidad en extremos de temperatura, pH, y salinidad (Sathi Reddy et al, 2016).

Tabla 4. Estado del arte internacional sobre el manejo de los desechos de mango utilizados en la elaboración de biocombustibles.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
2015	Batool et al	Comparative growth potential of different <i>Bacillus</i> species on fruit peels	Artículo	Cáscara	No
2015	Cruz et al	A Comparative Study on Activated Carbons Derived from a Broad Range of Agro-industrial Wastes in Removal of Large-Molecular-Size Organic Pollutants in Aqueous Phase	Artículo	Cáscara y semilla	No
2016	Sathi-Reddy et al	Utilization of mango kernel oil for the rhamnolipid production by <i>Pseudomonas aeruginosa</i> DR1 towards its application as bio control agent	Artículo	Semilla	No
2017	Moyo et al	Bio sorption of lead (II) by chemically modified <i>Mangifera indica</i> seed shells: Adsorbent preparation, characterization and performance assessment	Artículo	Semilla	No
2019	Valdivia-Rivera et al	Production of hydrocarbon-degrading microorganisms using agricultural residues of <i>Mangifera indica</i> L. and <i>Carica papaya</i> as carbon source	Artículo	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No

Fuente: Elaboración propia

En el tratamiento de aguas utilizando los residuos de mango, es importante señalar la investigación de Moyo et al (2017) sobre el uso del polvo de la cáscara de la semilla del mango modificado con una solución de hidróxido de sodio y EDTA. El objetivo fue la aplicación de las semillas del mango como biosorbentes (remoción de metales pesados usando por ejemplo residuos de agroindustria) para la eliminación de iones de plomo. El empleo de la cáscara de la semilla del mango para la producción de carbón activado empleando el azul de metileno en un modelo de contaminante orgánico es otra opción viable, ya que estos carbones poseían estructuras microporosas bien desarrolladas que mostraban altas áreas de superficie, alcanzando tasas de eliminación del azul de metileno cercanas al 100%, convirtiéndose estos residuos agroindustriales en una opción interesante para tratar aguas contaminadas (Cruz et al., 2015).

Estado actual del uso de la biotecnología tradicional frente a la valorización del residuo de mango a nivel nacional

Las líneas temáticas en Colombia estuvieron dirigidas hacia la alimentación animal y también en valorización biotecnológica de los residuos con cuatro (4) estudios cada uno; en la industria de alimentos con dos (2) estudios y los biocombustibles y energía con un (1) estudio cada uno, como se puede apreciar en la Figura 3.

El primer enfoque de la literatura analizada corresponde a la utilización de los residuos de mango en producción de alimentación animal (Tabla 5) igual enfoque que en la literatura internacional. Es significativo señalar que en regiones particulares, con actividad socioeconómica primaria en la crianza de animales para su aprovechamiento en carne, leche, lana, fibra, cuero, entre otros, como el departamento del Atlántico, las investigaciones buscaron encontrar soluciones alternativas para la nutrición animal, fundamentadas en los residuos producto de la industrialización de la cadena del mango, debido a que estos residuos no están siendo utilizados en forma eficiente y son desperdiciados en su mayor parte (Nucci y Morales, 2009). En el departamento del Atlántico, la producción de forrajes para la alimentación del ganado es escasa e inestable durante el año, por las condiciones climáticas características del Caribe seco. Hay ausencia de pastos durante la época de sequía o los pastos se malogran por las inundaciones en la época de lluvias. En términos generales, la mayoría de los ganaderos en el Atlántico no realizan ninguna práctica de alimentación para sus animales durante la época seca, por lo que es importante para el mejoramiento establecer alternativas de alimentación (Borrero, Cujía y Gutiérrez, 2017).

Una estrategia es el ensilaje de los residuos del mango. Este proceso sirve para almacenar alimento en tiempos de cosecha y

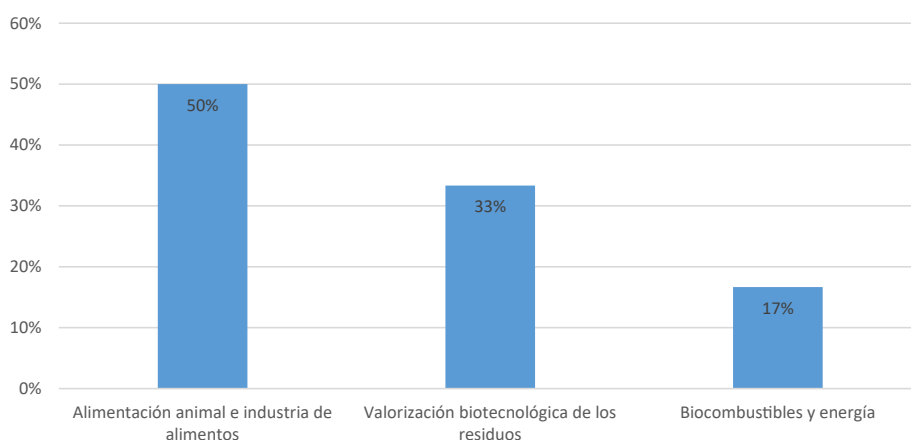


Figura 3. Estado actual en investigación en Colombia sobre residuos de mango. Elaboración propia.

Tabla 5. Estado del arte en Colombia sobre el empleo de los residuos de mango en alimentación animal.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
2009	Conde-Pulgarín	Calidad nutricional de los subproductos agroindustriales del mango (<i>Mangifera indica</i>), optimización de un proceso para su conservación por ensilaje y su potencial en la alimentación de rumiantes	Trabajo de grado	Cáscara y semilla	No
2013	González-Álvarez	Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal	Trabajo de grado	Semilla	No
2016	Gómez-Galeano	Residuos molidos del fruto del mango (<i>Mangifera indica</i>) como alimento para bovinos y otros rumiantes, en las intensas sequías generadas por el cambio climático en zonas de influencia donde se procesa la fruta	Artículo técnico	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No
2017	Borrero, Cujía y Gutiérrez	Criterios para el diseño de un ensilaje con alto valor nutricional a partir de residuos agroindustriales para ser utilizado en alimentación de vacas lecheras	Trabajo de grado	Residuo de mango	No

Fuente: Elaboración propia

suministrarlo en tiempos de escasez, así como para conservar su calidad y palatabilidad a un bajo costo. Además, estos residuos se mezclan con los forrajes para mejorar la calidad de los ensilajes, usando como aditivos (melaza, pulpa de cítricos, maíz triturado) o el empleo de inóculos biológicos como bacterias ácido lácticas homofermentativas (*Pediococcus acidilactici*) porque son más eficientes en la producción de ácido láctico. En estos procesos de conservación por ensilaje, el principal factor a tener en cuenta son los bajos contenidos de materia seca de los subproductos agroindustriales de mango, lo cual fue mejorado con la inclusión de harina de arroz al 15% de la mezcla antes de ensilar enfatizándose que los ensilados preparados con la cáscara de mango pueden ser un buen suplemento en vacas lactantes, por sus aportes en energía metabolizable (Conde-Pulgarín, 2009).

Los residuos de mango al ser un alimento completo y muy económico ha permitido sostener producciones de leche entre 8 - 10 l/día en la ganadería tropical de doble propósito y ganancias promedio en hembras de levante por encima de 600 g/día (Gómez-Galeano, 2016). La cáscara de mango puede darse como alimento fresco, seco o en ensilado. Debido al alto nivel de azúcar que contiene, es muy apetecible, pero es necesario adicionar una fuente de nitrógeno o proteína, por su bajo contenido de proteínas (Orozco-Corral, 2015).

El segundo enfoque de la literatura analizada corresponde al manejo de residuos (Tabla 6). En cuanto a algunas regiones en Colombia cuya actividad económica no es la ganadería, cabe destacar que las mejores opciones para dar valor a los residuos provenientes de la agroindustria del mango son el aprovechamiento energético (producción de biogás), biocombustibles, productos farmacéuticos, cosméticos y nutricionales. Como ejemplo de esto, en Colombia no se ha gestionado una política que permita disminuir los altos niveles de desperdicio y que un manejo adecuado de los mismos tendría una incidencia en la disminución de los gastos y costos asociados a la producción, recolección y disposición final de los residuos y su uso en procesos fermentativos (Giraldo, Correa, y Gutiérrez, 2007; Grande-Tovar, 2016). Los desechos de frutas y verduras se ha incrementado en departamentos como Santander, Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá, debido a que se desperdicia gran cantidad de comida, por ello es importante crear conciencia sobre la importancia de evitar el desperdicio y mejorar el manejo de alimentos en el país y diseñar una metodología estandarizada para la cuantificación de desperdicios en plazas de mercado, industrias alimentarias, hoteles y restaurantes (Martínez-Anaya y Quintero-Pechene, 2017).

El tercer enfoque de la literatura analizada corresponde al uso de residuos de mango en la industria de alimentos (Tabla 7).

El análisis de la semilla de mango para establecer su composición química y sus propiedades funcionales, con el fin de establecer la viabilidad de su uso como ingrediente alimentario, se evidencia en el estudio de Chaparro-Acuña et al en 2015, determinando que la semilla presentó proteína cruda 6,39%, humedad 44,8%, grasa cruda 10,70%, ceniza 2,11% y fibra 2,38%. Adicionaron que el tipo de proteínas que contiene la harina son globulinas (40,16%), proteínas insolubles (23,84%), glutelinas (15,81%), albúminas (12,11%) y prolaminas (8,08%).

Por su parte, Barreto et al. en 2017 caracteriza la pectina de la cáscara de mango mediante hidrólisis ácida, reportando un rendimiento del 15,257±0,04%, con mejores resultados a pH 1 y temperatura de 100°C. El análisis de espectrofotometría infrarroja mostró los picos característicos de los grupos funcionales de la pectina estándar, concluyendo que las cáscaras de mango eran una fuente potencial de pectina de excelente calidad.

En Colombia, los residuos que se generan tanto en las transformaciones agroindustriales, como en la postcosecha, no han sido utilizados eficientemente, 17% concluye Peñaranda-González et al (2017), en parte, porque su valor no se conoce y, por la carencia de métodos apropiados para la caracterización de productos de un mayor valor agregado. Hay que tener en cuenta factores que limitan estos usos en las aplicaciones industriales, por ejemplo, los costos asociados al secado, almacenamiento y el transporte de los subproductos, por lo tanto, estos residuos son a menudo empleados con un escaso tratamiento como alimento para ganado, como fertilizantes, o sencillamente se transforman en focos de contaminación para las fuentes de agua dulce, los mismos cultivos o se convierten en un problema de salud pública.

Definición de las características del residuo de mango como producto alternativo en la suplementación en la dieta bovina

Análisis proximal del desecho de mango. La cantidad de materia seca (M.S) de las cuatro (4) réplicas de mango de desecho arrojaron un

Tabla 6. Estado del arte en Colombia sobre la valorización biotecnológica de los residuos de mango.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
2013	Ramírez-Vergara y Mejía-Echeverri	Modelo económico para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de mango y banano generados en la central mayorista de Antioquia	Tesis	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No
2016	Grande-Tovar	Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales	Libro	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No
2017	Martínez-Anaya y Quintero-Pechene	Estado actual de los desperdicios de frutas y verduras en Colombia	Artículo	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No
2017	Peñaranda-González et al	Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia	Artículo	Residuo de mango sin especificar una parte especial	No

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Estado del arte en Colombia sobre el empleo de los residuos de mango en la industria de alimentos.

Año	Autores	Título del artículo	Tipo de investigación	Sustrato usado	Aditivo
2015	Chaparro-Acuña et al	Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (<i>M. indica</i> L.)	Artículo	Semillas	No
2017	Barreto et al	Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (<i>M. indica</i> L.)	Artículo	Cáscara	No

Fuente: Elaboración propia

valor promedio de 27,33%; al comparar este valor con los requerimientos que un bovino necesita para la producción de carne o leche, el desperdicio de mango como alimentación es un elemento prometedor para nuevas dietas, teniendo en cuenta que estos animales deben consumir al día entre 1,8–3,8% de su peso corporal en materia seca (Contexto Ganadero, 2017). La disponibilidad en los alimentos de M.S es variada, teniendo en cuenta que los pastos son la base principal de la dieta de los bovinos y estos poseen cantidades relativamente bajas de M.S. en algunas regiones de Colombia, se hace necesario complementar la alimentación de los bovinos ya que el contenido de algunos metabolitos como las proteínas en este tipo de pasturas fueron relativamente bajos (8–10%) de su M.S (Hoyos-Ortiz, 2007).

Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio para las muestras de mango de desecho.

Muestra	Materia seca (g/100)	Cenizas (g/100)	Extracto etéreo (g/100)	Proteínas (g/100)	Fibra cruda (g/100)
1	27,51	1,90	3,75	7,32	12,01
2	27,13	2,15	3,19	7,48	12,67
3	27,62	1,81	2,52	6,77	10,01
4	27,07	2,10	2,99	7,18	12,70
Promedio	27,33	1,99	3,11	7,19	11,85
Desviación estándar	0,273	0,161	0,509	0,304	1,266

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los residuos de mango con la melaza de caña, complemento utilizado con alta frecuencia en la región, se evidenció que el porcentaje de proteína bruta contenida en la M.S fue más alto en pasta de desecho de mango (Tabla 9), permitiendo suponer que la utilización de este desecho como materia prima en la elaboración de alimentos alternativos para bovinos sería promisorio, ya sea por su contenido nutricional, como por su valor económico (Tablas 8 y 9). Con respecto a las cenizas, su valor promedio fue de 1,99%, teniendo en cuenta que están constituidas de macro elementos, principalmente potasio, fósforo, calcio, sodio, al observar los resultados se evidenció que el desecho de mango fue una fuente sustancial de estos elementos. Es

importante destacar que los requerimientos de los macro elementos por parte de los bovinos doble propósito está entre 0,02–0,9%, lo que permitió inferir que los productos a base de residuos de mango se podrían constituir en una alternativa en la suplementación de ganado en razón a que el contenido de ceniza que aportan los pastos es relativamente bajo (Contexto Ganadero, 2017).

Tabla 9. Análisis comparativo nutricional entre la melaza de caña y pasta de mango.

Contenido	Melaza de caña (%p/p)	Pasta de mango (%p/p)
Materia seca	78	27,33
Proteína	3	7,19
Fibra cruda	0	11,85
Extracto etéreo	0,4%	3,11
Cenizas	9%	1,99

Fuente: Elaboración propia con datos de (Fajardo-Castillo y Sarmiento-Forero, 2007)

Otro factor importante es el extracto etéreo, cuyo análisis de laboratorio estableció que los residuos de mango de las cuatro muestras presentaron una concentración promedio de 3,1%. Esta grasa bruta es necesaria para los animales doble propósito que la requieren en un porcentaje alto aproximadamente del 4,0% (Laveaga y Ávila-Tellez, s.f.). Comparado con el aporte que brinda la melaza (0,4%), la pasta a base de los residuos de mango se convierte en una alternativa en la formulación de dietas que requieran de estos metabolitos.

El análisis de laboratorio de las cuatro muestras de mango de desecho mostraron en promedio una concentración de proteína de 7,18%, con base a su M.S (27,33%), información importante, si se compara este dato con el aporte de proteína que presentan otros productos como el maíz, este alimento de origen vegetal es el más utilizado para la incorporación de proteína en la elaboración de alimentos alternativos para animales doble propósito (Mac-Loughlin, 2011)

Los valores económicos de estas materias primas son muy altos si se comparan con el valor económico que puede tener la pasta de desecho de mango como se observa en la Tabla 10.

Por último, el porcentaje de fibra cruda arrojado por las muestras fue de 11,8%, a pesar que estas estructuras en un gran porcentaje no son metabolizadas por los animales, son importantes en la dieta, ya que favorece el funcionamiento de todo el tracto digestivo de los animales favoreciendo la salivación y el rumen, por lo tanto los animales deben consumir alrededor de un 17-21% de fibra en la dieta (Palladino, Wawrzekiewicz, and Bargo, 2006).

Tabla 10. Valor comercial del silo de maíz, melaza de caña y pasta de mango desecho en el mercado local.

Producto	Silo de Maíz	Melaza de caña	Pasta de mango
Presentación comercial	Bolsa de 15 kl	Bolsa de 30 kl	Bolsa de 40 kl
Valor por kilo US\$*	0,32	0,29	0,12

*Valor dólar promedio febrero de 2019. Fuente: Elaboración propia con información tomada de los almacenes agropecuarios del departamento del Atlántico

La alimentación de los rumiantes está basada en el pastoreo de las gramíneas, las cuales muchas veces se ven afectadas tanto en la calidad nutricional como en la disponibilidad de las mismas durante la época de sequía (Gómez-Galeano, 2016). Actualmente la melaza de la caña de azúcar es utilizada como vehículo para la incorporación de la urea, sin embargo, resulta costoso y algunas veces es escasa en algunas regiones, por lo que una alternativa es buscar su sustitución por los productos locales, por ejemplo, los bloques nutricionales preparados con los residuos de la agroindustria del mango, especialmente en cabras (Manuel-Luviano, 2018; Sánchez-Santillán, 2019).

Con base en lo expuesto anteriormente se puede potencializar la pasta de mango realizando un ensilado, agregándoles aditivos que pueden permitir la obtención de un alimento fermentado a base de mango de desecho, con unos valores nutricionales ideales, pero sobretodo con un valor económico bajo que sea de acceso para los pequeños y medianos productores de ganado vacuno especialmente doble propósito. Dentro de estos aditivos llama la atención el lactosuero ya que este producto aporta un 1,8 % de proteína altamente digerible. En el mercado

local el lactosuero se puede encontrar a precios muy bajos por ser un residuo de la industria del queso, este producto induce a la fermentación láctica, siendo esta una ruta metabólica que induce a la rápida producción de ácido láctico por parte de microorganismos como: *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*, entre otros (Borrero, Cujía y Gutiérrez, 2017). Cuando se agrega el lactosuero al ensilaje, provoca una rápida disminución del pH que inhibe el crecimiento de microorganismos indeseados, lo que conlleva a una mayor preservación de los nutrientes del ensilaje (Gutiérrez, Avellaneda, DiRisio y Juliano, 2017).

Conclusiones

Durante décadas, los agricultores y ganaderos han usado técnicas tradicionales para modificar algunas plantas y sus productos alimenticios. La biotecnología hace referencia al uso de microorganismos en diferentes procesos, lo que ha conllevado a la creación de nuevos productos, al mejoramiento de dicho proceso, o bien, al reemplazo de los procesos tradicionales por un nuevo procedimiento basado en ingeniería genética y otras técnicas. La biotecnología ha dado lugar a la creación de nuevos productos, al mejoramiento efectivo de los procesos de producción de servicios ya existentes, o a la sustitución de algunos procesos tradicionales por unos nuevos.

Por medio de este trabajo se identificaron alternativas de valorización para el residuo de mango que se genera en la franja costera del departamento del Atlántico a través de la utilización de técnicas basadas en biotecnología tradicional. Al realizar una operación de búsqueda de información se encontraron investigaciones a nivel internacional y nacional que permitieron mostrar diferentes alternativas para potencializar los valores de estos residuos que se generan en esta parte del departamento.

Entre estas alternativas de valorización de los residuos de mango se mencionó en primer lugar: El uso de residuos de mango en la alimentación

animal. Para este fin, se puede diseñar un alimento fermentado de pasta de residuo de mango enriqueciéndolos con esquilmos de hortalizas o frutas o con proporciones de melaza y urea entre 2-2,5%, ya que estos aditivos permiten un incremento en el contenido de proteína, agiliza la velocidad de fermentación y se potenciaría adicionándole a este alimento lactosuero, el cual también incorporaría al alimento una proteína altamente metabolizable y favorecería en la conservación del silo.

En segundo lugar, los residuos de mango son una fuente importante para la extracción de compuestos bioactivos con un potencial interesante en distintos usos como, por ejemplo, la adición del extracto de las cáscaras de mango en películas de gelatina de pescado en concentraciones de 1 a 5% como material potencial para el envasado de los alimentos. Las semillas, cáscara y la pulpa de mango tienen la capacidad de inhibir la oxidación mediada por radicales peróxido y evita de este modo la rancidez oxidativa de los alimentos. Sin embargo, este tipo de proyectos no es posible llevarlos a cabo en esta zona de la Región Caribe y corresponden a proyectos internacionales utilizando biotecnología moderna.

Hoy en día existen variedades de posibilidades para desarrollar aplicaciones tecnológicas en el sector de pequeños productores de la zona costera del departamento del Atlántico, por ejemplo, el ensilado de los residuos de mango, con ello se fortalecería la competitividad de este sector y su inserción en el mercado internacional. La cadena agroalimentaria del mango es importante a nivel regional y pensar en su desarrollo, en el que la biotecnología es una de las tecnologías recurrentes; permitiría encarar un proceso de desarrollo de este territorio, tanto social como económico.

La biotecnología ha dado lugar a la creación de nuevos productos, al mejoramiento efectivo de los procesos de producción de servicios ya existentes, o a la sustitución de algunos procesos tradicionales por unos nuevos.

Ahora bien, la biotecnología puede ofrecer a los productores de los municipios costeros alternativas que sean armónicas con el medio ambiente y económicamente viables para aquellos productores que le apuesten por esta fuente tecnológica.

Aplicar las opciones que brinda la biotecnología desembocará en cambios importantes en la estructura agrícola en los municipios del departamento del Atlántico. Cambios que vendrán a modificar la cadena productiva, social y económica del sector agrícola, permitiendo que se abra una amplia gama de posibilidades para los productores del mango en cuanto a sus usos y sus posibles aplicaciones agrícolas.

Agradecimientos

Grupo GEA (Gestión Ecológica y Agroindustrial); Universidad Libre Seccional Barranquilla, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Línea de investigación "Microorganismos y Metabolitos de interés industrial".

Silvio Guzmán Pérez, MV, MSc. Nutricionista de rumiantes y experto en alimentación animal con residuos agroindustriales, especialmente con mango.

Referencias

- Aguilera, A.; Pérez-Gil, F.; Grande, D.; De la Cruz, I. and Juárez, J. (1997). Digestibility and fermentative characteristics of mango, lemon and stover silages with or without addition of molasses and urea. *Small Ruminant Research*, 26(1-2), 87-91. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)01001-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)01001-2)
- Andrade, L. A.; Barrozo, M. A. S. and Vieira, L. G. M. (2016). Thermo-chemical behavior and product formation during pyrolysis of mango seed shell. *Industrial Crops and Products*, 85, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.004>
- Ballesteros, L. V. (2014). *Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo*. Biblioteca Digital Universidad San Buenaventura. <http://hdl.handle.net/10819/2247>
- Barreto, G. E.; Púa, A. L.; De Alba, D. D. y Piñón, M. M. (2017). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.). *Temas Agrarios*, 22(1), 77-84. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.918>

- Batool, N.; Shakir, H.A. and Qazi, J.I. (2015). Comparative growth potential of different *Bacillus* species on fruit peels. *Punjab Univ. J. Zool.*, 30(1): 25-29. <http://pu.edu.pk/images/journal/zology/PDF-FILES/6-Comparative%20growth%20potential%20of%20different%20Bacillus%20species%20on%20fruit%20peels.pdf>
- Borrero, A.; Cujía, K. y Gutiérrez, C. (2017). Criterios para el diseño de un ensilaje con alto valor nutricional a partir de residuos agroindustriales para ser utilizado en alimentación de vacas lecheras (Tesis de pregrado). Universidad Libre seccional Barranquilla, Colombia.
- Carrillo-Nieves, D.; Ruiz, H.; Aguilar, C. N.; Ilyina, A.; Parra-Saldivar, R.; Torres, J. A. and Martínez-Hernández, J. L. (2017). Process alternatives for bioethanol production from mango stem bark residues. *Bioresource Technology* 239, 430-436. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.131>
- Chaparro-Acuña, S. P.; Lara-Sandoval, A. E.; Sandoval-Amador, A.; Sosa-Suarique, S. J.; Martínez-Zambrano, J. J. y Gil González, J. H. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). *Ciencia en Desarrollo*, 6(1), 67-76. <https://doi.org/10.19053/01217488.3651>
- Conde-Pulgarín, A. (2009). Calidad nutricional de los subproductos agroindustriales del mango (*Mangifera indica*), optimización de un proceso para su conservación por ensilaje y su potencial en la alimentación de rumiantes (Tesis de Maestría). Universidad de la Sabana, Chia, Colombia.
- Contexto Ganadero. (2017). Requerimiento de materia seca de los bovinos. [Web log post]. Recuperado de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/requerimientos-de-consumo-de-materia-seca-de-los-bovinos>
- Couto-Filho, C.; Silva-Filho, J.; Neiva-Júnior, A.; de Freitas, R.; De Souza, R. and Rodrigues-Nunes, J. (2007). Quality of mango residue silage with different additives. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 31(5), 1537-1544.
- Cruz, G. J. F.; Matějová, L.; Pírlä, M.; Ainassaari, K.; Canepa, C. A.; Solis, J.; ...and Keiski, R. L. (2015). A Comparative Study on Activated Carbons Derived from a Broad Range of Agro-industrial Wastes in Removal of Large-Molecular-Size Organic Pollutants in Aqueous Phase. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(7), 214. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2474-7>
- Dorta, E.; Rodríguez-Rodríguez, E. M.; Jiménez-Quezada, A.; Fuentes-Lemus, E.; Speisky, H.; Lissi, E. and López-Alarcón, C. (2017). Use of the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) Assay to Predict the Capacity of Mango (*Mangifera indica* L.) By-Products to Inhibit Meat Protein Oxidation. *Food Analytical Methods*, 10(2), 330-338. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0584-5>
- Dou, G. and Golfarb, J. L. (2017). In situ upgradind of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbents for water treatment. *Fuel*, 195, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.052>
- Fajardo-Castillo, E. y Sarmiento-Forero, S. (2007). Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*. (Tesis PhD). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- García, J.; Floriano, J. A.; Corredor, J. P.; Bernal, J. A.; Vásquez, L. A. Sandoval, P.; ... Gómez, G. (2010). Descripción de las variedades de mango criollo colombiano: Boletín Técnico. Bogotá: Prodimedios. 2010.
- García, M.; Henry, D.; Schulmeister, T.; Benítez, J.; Ruiz-Moreno, M.; Cuenca, J.; ...y DiLorenzo, N. (2015). Nutrición animal en sistemas tropicales: Uso de residuos agrícolas en la producción animal. *Maskana*, 6(Supl.), 75-81. <https://publicaciones.uncuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/651>
- Giraldo, L.F.M.; Correa, H.A.M. y Gutiérrez, J.E.B. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia*, 3(6), 22. https://www.researchgate.net/publication/237667908_Aprovechamiento_del_residuo_agroindustrial_del_mango_comun_Mangifera_indica_L_en_la_obtencion_de_azucares_fermentables_Usage_of_the_commn_mango_agroindustrial_waste_mangifera_indica_L_in_the_destract
- Gómez-Galeano, M. (2016). Residuos molidos del fruto del mango (*Mangifera indica*) como alimento para bovinos y otros rumiantes, en las intensas sequías generadas por el cambio climático en zonas de influencia donde se procesa la fruta. *Engormix*. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/residuos-molidos-fruto-mango-t39506.htm>
- González-Álvarez, D. O. (2013). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal. (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria Lasallista, Colombia
- González-Sánchez, M.; Pérez-Fabiel, S.; Wong-Villarreal, A.; Bello-Mendoza, R. y Yañez-Ocampo, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- Grande-Tovar, C. D. (2016). Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. 180p. <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4588/1/9789588785813.pdf>
- Gutiérrez, C.; Avellaneda, Y.; DiRisio, J. y Juliano, P. (2017). Alimentación animal. En Juliano, P.; Musset, G. B. y Castells, L. (Ed.). Valorización del lactosuero (p.p. 61-69). <http://lactosuero.com/wp-content/uploads/2019/01/Valorizacion-Lactosuero.pdf>
- Guzmán, O.; Lemus, C.; Bugarín, J.; Bonilla, J. y Ly, J. (2010). Ensilado de residuos de mango (*Mangifera indica* L.) para la alimentación animal. Características fermentativas. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 17 (3), 218-224. http://www.iip.co.cu/RCP/173/173_06OGuzman.pdf
- Guzmán, O.; Lemus, C.; Martínez, S.; Bonilla, J.; Plascencia, A. y Ly, J. (2010). Características químicas del ensilado de residuos de mango (*Mangifera indica* L.) destinado a la alimentación animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46 (4), 369-374. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193027579005>
- Hoyos-Ortiz, H. J. (2007). Alimentación y suplementación de ganado para producción de carne y leche. En G. Pérez (Presidencia), *Primer Seminario Internacional Competitividad de la carne y*

- leche Trópico Bajo. Seminario dirigido por Colanta, Planeta Rica.
- Laveaga, E. y Ávila Tellez, S. (s.f.). Alimentación. Producción de Leche con Ganado Bovino [PDF]. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Requerimientos_de_Vacunos_de_Leche.pdf
- Mac-Loughlin, R. (2005). Perfiles de engrasamiento en la recría y engorde de bovinos para carne. 1º parte: conceptos generales en sistemas pastoriles intensivos. [Web log post]. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/71-Perfiles_engrasamiento.pdf
- Manuel-Luviano, M.; Torres-Salado, N.; Ávila-Nájera, D. M.; Peláez-Acero, A.; Herrera-Pérez, J.; Rojas-García, A.R.; ...Sánchez-Santillán, P. (2018). Conducta de cabras (*Capra aegagrus hircus*) estabuladas en corraletas alimentadas con bloques nutricionales elaborados con pulpa de mango. *Agroproductividad*: Vol. 11(2) pp: 135-139. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/139/116>
- Martínez-Anaya, M. y Quintero Pechene, C. (2017). Estado actual de los desperdicios de frutas y verduras en Colombia. En V. Villarreal (Presidencia), 4to Congreso Internacional AMITIC, Popayán, Colombia, 2017, pp. 194-201. DOI: 10.13140/RG.2.2.10807.01441
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Boletín Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2016 - 2017. https://www.agronet.gov.co/Documents/13-MANGO_2017.pdf
- Moyo, M.; Pakade, V. E. and Modise, S. J. (2017). Biosorption of lead (II) by chemically modified *Mangifera indica* seed shells: Adsorbent preparation, characterization and performance assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.007>
- Mouho, D.; Oliveira, A. P.; Kodjo, C. G.; Valentão, P. Ouattara, Z. A.; Bekro, Y.-A. and Andrade, P. B. (2018). Valorizations of *Mangifera indica* crop biomass residues. *Industrial Crops and Products*, 124(15), 284-293. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.028>
- Nadar, S.S. y Rathod, V.K. (2018). Unaco-inmovilización de pectinasa y celulasa en nanopartículas magnéticas para la extracción antioxidante de las cáscaras de fruta de desecho. *Biocatálisis y biotecnología agrícola*, 17, 470-479. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.12.015>
- Nucci, S. A. y Morales, L. G. (2009). Presente y perspectivas de la agroindustria frutícola exportadora en el departamento del Atlántico. *Desarrollo Gerencial* 1(1), 14-27. <http://revistas.unisimon.edu.co/index.php/desarrollogerencial/article/view/3947>
- Okino-Delgado, C. H.; Prado, D. Z. and Fleuri, L. F. (2018). Brazilian fruit processing, wastes as a source of lipase and other biotechnological products: A review. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 90(3), 2927-2943. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180095>
- Orozco-Corral, A. (2015). *Esquilmos frutales para alimento de los animales* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, México.
- Palladino, A.; Wawrzekiewicz, M. y Bargo, F. (2006). La fibra. *Producción Animal*, 202, 2. [Web log post]. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/rol-fibra-sistemas-engorde-t29468.htm>
- Patil, N. V. and Netravali, A. N. (2016). Microfibrillated cellulose-reinforced nonedible starch-based thermoset biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(45). <https://doi.org/10.1002/app.43803>
- Peñaranda-González, L. V.; Montenegro, S. P. y Giraldo-Abad, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agrícola y Ambiental*. 8(2), pp. 141-150. DOI:10.22490/21456453.2040
- Ramírez-Vergara, J. y Mejía-Echeverri, A. E. (2013). *Modelo económico para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de mango y banana generados en la central mayorista de Antioquia*. (Tesis Maestría). Universidad de Manizales, Colombia.
- Ruales, J.; Baenas, N.; Moreno, D. A.; Stinco, C. M.; Melendez-Martínez, A. J. and García-Ruiz, A. (2018). Biological Active Ecuadorian Mango 'Tommy Atkins' Ingredients-An Opportunity to Reduce Agrowaste. *Nutrients*. 10(9), 1138. <https://doi.org/10.3390/nu10091138>
- Rumple, C. R.; Maley, S. and Mehta, K. (2016). Densified mango residues as biofuel from low-resource agricultural processing. En J. Jefferies (presidency), 2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), Seattle, WA, 2016, pp. 27-32, doi: 10.1109/GHTC.2016.7857256.
- Sánchez-Santillán, P.; Torres-Salado, N.; Rojas-García, A. R.; Bottini-Luzardo, M. B.; Maldonado-Peralta, M. A.; Escobar-España, J. C.; ...Herrera-Pérez, J. (2019) Cinética de producción de gas y características fermentativas In vitro de la sustitución de melaza de caña por pulpa de mango en la elaboración de bloques nutricionales. *Agrociencia* 53: 957-967. <http://www.colpos.mx/agrociencia/Bimestral/2019/oct-nov/art-2.pdf>
- Sathi-Reddy, K.; Yahya-Khan, M.; Archana, K.; Gopal-Reddy, M. and Hameeda, B. (2016). Utilization of mango kernel oil for the rhamnolipid production by *Pseudomonas aeruginosa* DR1 towards its application as biocontrol agent. *Bioresource Technology*, 221, 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.041>
- Shitu, A.; Izhar, S. and Tahir, T. (2015). Sub-critical water as a green solvent for production of valuable materials from agricultural waste biomass: A review of recent work. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 1, 255-264. <https://dx.doi.org/10.7508/gjesm.2015.03.008>
- Silva, J.; Guim, A.; Carvalho, F.; Mattos, C.; Menezes, D.; Coelho, M. and Soares, L. (2016). Replacement of corn with mango meal for dairy goats. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(3), 178-187. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n3a03>
- Valdivia-Rivera, S.; Varela-Santos, E. del C.; Quiñones-Muñoz, T. A.; Hernández-Martínez, R. and Lizardi-Jiménez, M. A. (2019). Production of hydrocarbon-degrading microorganisms using agricultural residues of *Mangifera indica* L. and *Carica papaya* as carbon source. *3 Biotech*, 9(2), 43. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1574-2>