



Artículo original / Original article

## Potencialidades de aprovechamiento de residuos sólidos de la agroindustria, un estudio de revisión

### Potential for the use of solid waste from agroindustry, a review study

Luzbenia Analí Motta-Machicado<sup>1\*</sup> ; Leo Ulises Michael Tirado-Rebaza<sup>1</sup> ; Marjorie Lovera Salas-De Peralta<sup>2</sup> ; Gabriel Jesús Benites-Fernández<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Privada de Tacna, Tacna – Perú

Recibido: 12/08/2023

<sup>2</sup> Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado – Perú

Acceptado: 10/09/2023

Publicado: 20/12/2023

**Autor de correspondencia:** luzbanalimotta@gmail.com

**Resumen:** El presente artículo de revisión se realizó con la finalidad de recopilar información de diferentes formas de aprovechamiento de residuos sólidos procedentes de la agroindustria, puesto que dichos desechos constituyen un problema económico para las empresas agroindustriales y un problema ambiental para la comunidad; sin embargo la literatura científica registra diversas modalidades efectivas y viables de utilización de estos residuos, con las cuales, se podría minimizar costos operativos en las empresas y se podría contribuir a minimizar el impacto ambiental de la actividad. Esta revisión, recopila la información de 15 artículos científicos originales de investigación experimental acerca de las potencialidades de los desechos agroindustriales en cinco campos definidos por los autores. Para realizar la revisión bibliográfica, se buscaron artículos científicos publicados entre los años 2012 y 2021 en la base de datos Scielo, esta revisión evidencia que existen múltiples utilidades de diferentes desechos agroindustriales que podrían considerarse en investigaciones futuras.

**Palabras clave:** Desechos agroindustriales; residuos agroindustriales.

**Abstract:** This review article was carried out with the purpose of compiling information on different forms of use of solid waste from agro-industry, since said waste constitutes an economic problem for agro-industrial companies and an environmental problem for the community; however, the scientific literature registers various effective and viable modalities for the use of these residues, with which operating costs in companies could be minimized and could contribute to minimizing the environmental impact of the activity. This review compiles information from 15 original scientific articles on experimental research about the potential of agro-industrial waste in five fields defined by the authors. To carry out the bibliographic review, scientific articles published between 2012 and 2021 in the Scielo database were searched. This review shows that there are multiple uses of different agro-industrial wastes that could be considered in future research.

**Keywords:** Agro-industrial waste; Agro-industrial residues

## 1. Introducción

Actualmente la humanidad enfrenta una notable problemática de índole social, ecológico y económico; el continuo crecimiento de las poblaciones alrededor de todo el mundo, incrementa la necesidad de alimentos, vivienda y vestimenta, entre otros, las industrias producen a mayor escala para cubrir dichas demandas y, con ello, también se incrementan las tasas de polución derivadas de los desechos industriales que afectan tanto a la población rural y urbana a nivel mundial, generando un impacto nocivo para el hombre y otros organismos (Jara et al., 2022). Por ejemplo, la actividad agroindustrial en sus diferentes procesos, genera una gama de residuos sólidos líquidos y gaseosos y mayormente, son eliminados al medio ambiente, quemados o arrojados a los basureros, quebradas y ríos sin ningún tratamiento previo; esto constituye un problema de salud pública en la comunidad (Cury et al., 2017). Asimismo, el manejo de estos residuos tiene una repercusión económica para las empresas agroindustriales (Hernández & Corredor, 2016). Ante lo mencionado, estudios como los de Vargas & Pérez (2018) y Rojas-González et al. (2019) han demostrado que existe un gran potencial de aprovechamiento de los residuos agroindustriales en diferentes áreas y procesos productivos e incluso pueden contribuir a la solución de diversos problemas identificados en los sectores industriales. Por lo antes mencionado, los países latinoamericanos, en los últimos 10 años han incrementado las investigaciones en el aprovechamiento de los residuos agroindustriales no solo con fines de generación de bioenergéticos, sino también, con otros fines identificados en la literatura científica. En ese sentido, como resultado de una revisión bibliográfica de artículos científicos, se identificaron cinco modalidades potenciales de empleo de los residuos agroindustriales: Usos en la elaboración de abonos orgánicos, la obtención de alimento balanceado para animales, la fabricación de mampostería no convencional, la recuperación de medios contaminados y la obtención de bioenergéticos.

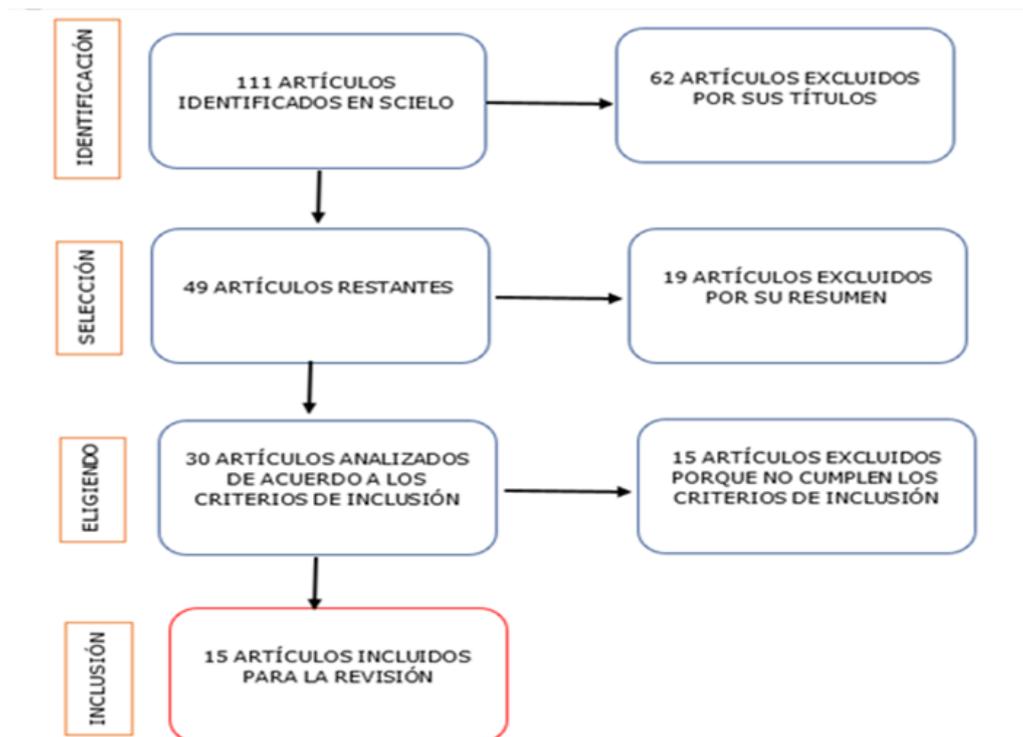
En vista de lo explicado, el presente estudio, plantea responder a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las principales potencialidades de aprovechamiento de los residuos derivados de la agroindustria que ha registrado la literatura científica en los 10 últimos años? Para ello, planteamos el siguiente objetivo general: Identificar las principales potencialidades de aprovechamiento de los residuos derivados de la agroindustria según la información obtenida entre los años 2012 y 2021, asimismo, se formulan los siguientes objetivos específicos: Identificar las potencialidades de los residuos agroindustriales para la elaboración de abonos orgánicos, para la obtención de alimento balanceado destinado a animales, en la fabricación de mampostería no convencional, en la recuperación de medios contaminados y en la obtención de bioenergéticos.

## 2. Materiales y métodos

El presente estudio es un artículo de revisión; este tipo de documento se caracteriza por iniciar con el planteamiento de una estructurada y específica interrogante, a partir de la cual se determinaron los términos de referencia que serán empleados en la búsqueda de una determinada base de datos (B. Moreno et al., 2018). En este caso, se realizó una revisión de la literatura en la base de datos Scielo, mediante la siguiente estrategia de búsqueda: El periodo de publicación considerado fue desde enero del 2012 a junio del 2021; este periodo de tiempo se toma en consideración en vista de que la literatura científica registra una tendencia marcada de investigación en el aprovechamiento de residuos agroindustriales en diferentes sectores económicos y productivos en los últimos 10 años. De la misma manera, al realizar la búsqueda se encontraron artículos en los idiomas español inglés y portugués de acceso abierto. Se consideraron como términos de búsqueda “residuos agroindustriales” y “desechos

agroindustriales". La búsqueda inicial arrojó 111 estudios, de los cuales fueron eliminados 62 porque no eran relevantes de acuerdo al objetivo de la investigación. Los 49 artículos restantes se revisaron para confirmar si cumplían con los criterios de inclusión y finalmente se seleccionaron 15 estudios para un análisis integral. En la figura 1 se grafica este proceso.

Los criterios de inclusión contemplan: investigaciones experimentales desarrolladas en el lapso de los últimos 10 años, cuyos objetivos se encuentren vinculados con el aprovechamiento de residuos agroindustriales. En tal sentido, para la selección de la muestra (15 artículos) se excluyeron revisiones bibliográficas e investigaciones con objetivos diferentes al aprovechamiento de residuos agroindustriales.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de selección de artículos científicos.

De los 15 artículos incluidos en el análisis, 4 de ellos se centran en analizar las potencialidades de los residuos agroindustriales en la fabricación de abonos orgánicos, 2 se encargan del estudio de los residuos agroindustriales para generar bioenergéticos, otros 2 artículos investigan acerca del uso de los residuos agroindustriales en la elaboración de mampostería no convencional, 3 se ocupan de analizar las potencialidades de los residuos en la fabricación de alimento balanceado para animales y finalmente 4 artículos analizan las potencialidades de los residuos agroindustriales en la recuperación de medios contaminados. Todos los artículos escogidos son estudios realizados en países de Latinoamérica. En la Tabla 1 se presentan las principales características de los 15 estudios seleccionados.

**Tabla 1.** Artículos revisados y su relación con los objetivos.

Nombre de los artículos	Autores	Relación con los objetivos
<i>"Factibilidad agronómica del uso de vinaza, subproducto de la fabricación del pisco, como biofertilizante en viñedos"</i>	(Callejas et al., 2015)	Identificar las potencialidades de los residuos agroindustriales para la elaboración de abonos orgánicos
<i>"Uso de residuos agroindustriales en previveros de palma aceitera (Elaeis guineensis, Arecaceae): crecimiento y absorción de nutrimentos"</i>	(Madrigal-Valverde & Garbanzo-León, 2018)	
<i>"Composting of byproducts from the orange (Citrus sinensis (L.) Osbeck) and sugarcane (Saccharum spp. Hybrids) agroindustries"</i>	(Debernardi-Vazquez et al., 2020)	
<i>"Food waste valorization through composting and bio-drying for small scale fruit processing agroindustries"</i>	(Brenes-Peralta et al., 2020)	
<i>"Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú"</i>	(Godoy et al., 2020)	Identificar las potencialidades de los residuos agroindustriales para la obtención de alimento balanceado destinado a animales,
<i>"Valoración nutricional in situ de dietas con harina de maracuyá (Passiflora edulis) en sustitución del maíz (Zea mays)"</i>	(Sánchez et al., 2019)	
<i>"Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes"</i>	(Ramírez-Cortina et al., 2012)	
<i>"Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau"</i>	(Veloso et al., 2021)	Identificar las potencialidades de los residuos agroindustriales para la fabricación de mampostería no convencional
<i>"Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural"</i>	(Molina et al., 2015)	
<i>"Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz"</i>	(A. Moreno et al., 2012)	Identificar las potencialidades de los residuos agroindustriales para la recuperación de medios contaminados
<i>"Cáscara de piña como adsorbente de colorantes típicos de la industria textil"</i>	(Ardila et al., 2018)	
<i>"Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de cr (vi) en efluentes de curtiembres sintéticos"</i>	(Dávila-Martinez et al., 2017)	
<i>"Remoción de plomo por biomasas residuales de cáscara de naranja (Citrus sinensis) y zuro de maíz (Zea mays)"</i>	(Tejada et al., 2016)	
<i>"Producción de Hidrógeno a partir de la fermentación de residuos agroindustriales de la piña"</i>	(Montoya-Pérez & Durán-Herrera, 2017)	
<i>"Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorrefinería"</i>	(Muñoz et al., 2014)	Identificar las potencialidades de los residuos agroindustriales para la obtención de bioenergéticos

### 3. Resultados y discusión

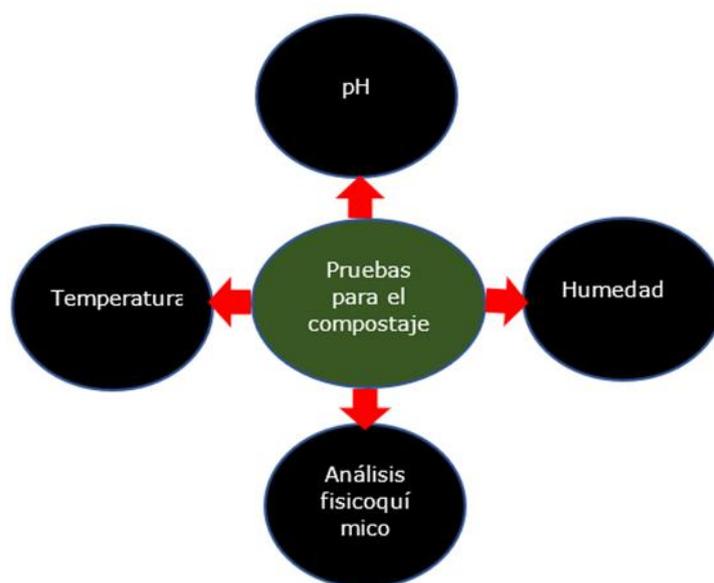
Antes de presentar los resultados de la revisión bibliográfica, es importante mencionar que el aprovechamiento de los residuos agroindustriales constituye una tendencia acorde a la denominada economía circular; según Silva-Alvarado et al. (2023), la economía circular es una alternativa adicional al patrón lineal de la economía convencional y busca que todo material, al final de su vida útil, vuelva a ser reinsertado en el circuito económico, evitando de esta forma, que el proceso siga un camino lineal para que pase a convertirse en un proceso cíclico. Asimismo, Da Costa (2022), señala que existen cinco áreas de acción de la economía circular: la extracción, transformación, distribución, utilización, y recuperación de bienes y servicios en diferentes sectores económicos. Bajo esta perspectiva, identificamos que la actividad agroindustrial genera cuantiosa biomasa residual que permanentemente es desechada sin contemplación alguna. Ante ello, diferentes estudios han demostrado que existe un gran potencial de aprovechamiento de los residuos agroindustriales, el cual podría ser explotado en Latinoamérica por las características de las empresas dedicadas a este rubro. A continuación, se presentarán los resultados del análisis de los artículos seleccionados. Los datos se organizaron con ayuda de tablas y gráficos que permiten una mejor visualización y comprensión de la información analizada.

#### 3.1. Potencialidades para la elaboración de abonos orgánicos a través del aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria

La gran mayoría de los productos alimenticios de interés económico, se cultivan utilizando diversas técnicas necesarias en cada etapa de la actividad agrícola, desde la selección de la semilla adecuada, germinación de semillas, preparación del terreno, métodos de siembra, manejos de malezas y plagas, hasta los mecanismos de cosecha. En ese sentido, durante las etapas de preparación del terreno definitivo y la siembra de forma indirecta (almácigos y viveros) se considera de vital importancia, la aplicación de abonos que brinden a las plantas los nutrientes necesarios. Según De Carvalho et al. (2016), los desechos procedentes de las cosechas se han utilizado durante mucho tiempo para la generación de compost; sin embargo, con el incremento de la demanda de alimentos, los agricultores se han visto en la necesidad de aumentar su producción y utilizar a la vez, otros fertilizantes además de insecticidas bajo un formato de agricultura extensiva, la misma que ha traído problemas de deforestación erosión y contaminación. Sin embargo, en los últimos años, la tendencia de la agricultura ecológica o sustentable ha vuelto a sugerir la aplicación de abonos orgánicos trabajados aprovechando los residuos de las cosechas y/o los desechos de pequeñas agroindustrias establecidas cerca de los campos de cultivo. Adicionalmente, Debernardi-Vazquez et al. (2020), mencionan que existen estudios recientes que han logrado comparar las propiedades del suelo tratado con abonos orgánicos procedentes de residuos y suelos tratados con abonos comerciales convencionales, en los cuales se demuestra que los primeros mejoran el contenido de nitrógeno y materia orgánica y aumentan la productividad, a la vez que colaboran a minorizar problemas de impacto ambiental de la actividad agrícola. Bajo el mismo enfoque, estudios como los de Azula-Barrera (2023) y Aguirre-Forero et al. (2022), denotan que la producción de compost a partir de residuos orgánicos constituye un mecanismo ideal para cerrar su ciclo productivo, además de que se optimizan los procesos en el campo con mayor rentabilidad.

Brenes-Peralta et al. (2020) experimentaron con el compostaje de residuos provenientes de agroindustrias procesadoras de frutas en Costa Rica, aplicando y comparando cuatro tratamientos: compostaje "Takakura" que consta de en un compostador de tambor mecánico (TKT), "compostaje convencional" pellets de madera en un compostador mecánico de tambor

(PT), pila de compostaje “Takakura” en el suelo (TKS) y pila de bio-secado en el suelo (BS) con dos repeticiones en cada caso, los aspectos evaluados s en este estudio se detallan en la Figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de pruebas para el compostaje de residuos agroindustriales.

Asimismo, según la literatura científica, los resultados de esta experiencia reflejan que los cuatro tratamientos presentaron rangos de pH y humedad técnicamente apropiados; sin embargo, se detalla también, que existen diferencias significativas en cuanto a la evolución de la temperatura entre los tratamientos realizados en tambor mecánico y las pilas en el suelo, esta diferencia de temperatura, influye en la inactivación de los gérmenes patógenos, la degradación óptima de residuos y la relación “carbono-nitrógeno” necesaria en un abono orgánico con características optimas. La literatura científica concluye que la alternativa TKT muestra variables y atributos más adecuados para tratar los residuos provenientes de agroindustrias de frutas y aprovecharlos en la elaboración de un abono orgánico.

Debernardi-Vazquez et al. (2020) realizaron compostaje aeróbico de residuos de agroindustrias que procesan naranja y caña de azúcar en Veracruz, México, ejecutando las evaluaciones detalladas en la Figura 2. La literatura científica muestra en sus resultados una buena evolución de la temperatura de la pila de compostaje durante la “fase termófila”, en cuanto al pH del sustrato, se detalla un valor inicial de 3,5 y 9,1 al final del proceso en un lapso de 11 semanas. El proceso aeróbico contribuye directamente en el incremento del pH del sustrato, con lo cual, se evita la generación de ácidos orgánicos derivados del crecimiento de microorganismos anaeróbicos. Cabe destacar que los investigadores utilizaron también cenizas y lodos de filtración, los mismos que contribuyeron a la alcalinización del medio. Entre los resultados de los análisis fisicoquímicos del producto final, se aprecia una relación C/N de 25,517, cifra que indica que hay nitrógeno disponible y que es altamente probable que materia orgánica presente en el humus continuará su proceso de descomposición cuando se incorpore como sustrato en suelo definitivo o por medio de sustratos en viveros de diversas plantas.

Callejas et al. (2015) en la Universidad de Chile, realizaron tres experimentos sin antecedentes previos destinados a evaluar el efecto de la vinaza sobre plantas de vid, sistema radical y follaje, así como también, establecer el efecto de la vinaza en condiciones de campo, sobre las propiedades químicas del suelo, la planta de vid y su producción. La literatura científica registra

dos experimentos en condiciones controladas en “rizotrófon” y en macetas, y un tercer experimento en vides de 4 años de edad en suelo definitivo. Cabe mencionar que los investigadores realizaron previamente los análisis fisicoquímicos de la vinaza antes de ejecutar los experimentos; asimismo, la dosificación de vinaza en cada tratamiento se detalla en la Tabla 2. Por su parte, los resultados registrados en la literatura científica, permitieron concluir que la aplicación de 336 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza en “rizotrófon” y macetas propicia el crecimiento radicular y no presenta efectos colaterales negativos para la planta; asimismo, se observó un menor crecimiento con la aplicación del tratamiento 3; sin embargo no se observaron evidencias de deterioro de las condiciones químicas del suelo, el contenido de nutrientes en las plantas, el crecimiento vegetativo hasta 206 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. De la misma manera en el experimento 3, se evaluó el comportamiento del contenido de agua del suelo a cuatro profundidades (15, 25, 45 y 85 cm) haciendo énfasis en la lectura a 45 cm, espacio donde se desarrollan las raíces de plantas adultas, en tal sentido, la sonda electromagnética utilizada registró valores normales de contenido de agua.

**Tabla 2.** Dosificación de vinaza para ser evaluada como fertilizante orgánico.

Experimento 1 y 2		Experimento 3	
	Vinaza		Vinaza
Tratamiento 1	168 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Tratamiento 1	103 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Tratamiento 2	336 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Tratamiento 2	206 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Tratamiento 3	672 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Tratamiento 3	412 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>

Fuente: (Callejas et al., 2015).

Madrigal-Valverde & Garbanzo-León (2018) realizaron una investigación en los pre viveros ubicados en el departamento de Agronomía de la Cooperativa Agroindustrial de Palma de Aceite (Coopeagropal R. L.) en Buenos Aires, Argentina, utilizaron fibra de racimos vacíos, ceniza y lodos industriales de palma aceitera variedad Deli x Nigeria para generar 6 tratamientos que consisten en mezclas de suelo con los residuos agroindustriales mencionados, el sustrato producto de cada mezcla, fue empacado en bolsas a las que se sembró una semilla de palma aceitera. Los investigadores comenzaron a evaluar las plantas bajo los aspectos detallados en la Figura 3, a los 45 y 90 días después de la siembra, registrando como resultados finales que la aplicación de 20 % de fibra de racimos vacíos en el suelo genera una mejor respuesta en el crecimiento de plántulas de palma aceitera, tanto en las evaluaciones longitudinales como en la evaluación del diámetro del bulbo, asimismo, los autores identificaron un efecto mayor a los 90 días. Al realizar la evaluación de la biomasa en las plantas a los 45 y 90 días, los sustratos con fibra, lodo y ceniza, evidenciaron un aumento considerable en la materia seca. Por otra parte, se registra que en todos los tratamientos existe un mayor crecimiento del sistema radical en comparación al testigo (sin residuos agroindustriales). En cuanto a la acumulación de nutrientes, el tratamiento con 20 % de fibra de racimos vacíos presentó niveles considerables en referencia a los demás tratamientos. En la evaluación de pH, los sustratos con cenizas y lodos industriales registraron valores numéricos más elevados, sin embargo, todas las mezclas, aumentaron el pH del suelo en comparación al testigo, el mismo que, estuvo por debajo del nivel crítico para el valor de alcalinidad necesario.



**Figura 3.** Diagrama de evaluación de la aplicación de residuos agroindustriales en pre-viveros.

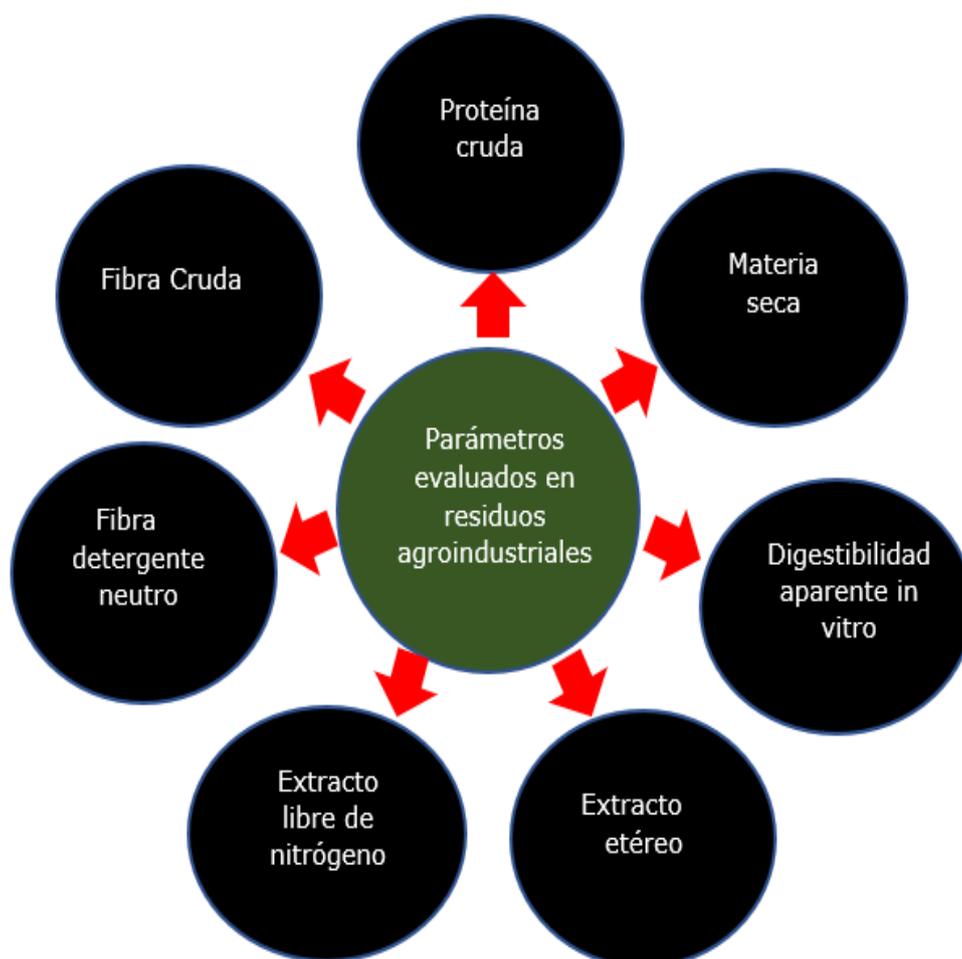
### 3.2. Potencialidades para la obtención de alimento balanceado para animales a través del aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria

Según Yoplac et al. (2021), actualmente existe un claro incremento de la producción de alimentos destinada a cubrir una demanda creciente de la población mundial; esta demanda está constituida tanto por alimentos de origen animal como vegetal. En lo concerniente a la industria de alimentos de origen animal, la ganadería es una actividad económica primaria extendida en todo el mundo, evidentemente debido a la gran demanda de sus productos; en tal sentido, la alimentación de animales de cría, hoy en día, constituye una gama de desafíos que enfrentan los pobladores agrícolas y ganaderos. En este contexto, Sánchez et al. (2019), refieren que, generalmente, en los países tropicales, los sistemas de alimentación del ganado se concentran en el aprovechamiento in-situ de pastos, así como en la utilización de los desechos procedentes de la agricultura y la industria alimentaria. Sin embargo, es de gran trascendencia, la investigación de nuevas técnicas de aplicación de los residuos en la elaboración de alimentos para los animales, teniendo en consideración factores nutricionales, económicos, de digestibilidad, formación de masa muscular, entre otros. Diferentes estudios tales como los de Castillo et al. (2002); Dihigo et al. (2008); Alzate et al., (2011); Chambi et al. (2013) y Gonzalez et al. (2014), demostraron que los desechos orgánicos constituyen una importante fuente de sustratos con cualidades positivas desde el punto de vista tecnológico y nutricional para la producción de alimentos funcionales tanto para animales como seres humanos.

Sánchez et al. (2019), realizaron un estudio en Ecuador, destinado a precisar la valoración nutricional en el campo, de dietas con “harina de maracuyá” en reemplazo del maíz, aplicadas al ganado bovino, específicamente de la raza Brahman con pesos ideales para el beneficio. Para tales

efectos, los autores diseñaron 3 tratamientos y un testigo, en cada tratamiento se aplicó la harina de maracuyá en lugar de la harina de maíz, en concentraciones del 10, 20 y 30% respectivamente. Los tratamientos fueron evaluados bajo los parámetros de degradabilidad, cinética ruminal de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida en un periodo de incubación de 0 a 72 horas. La degradabilidad de la materia seca fue diferente a las 24 h resaltando el tratamiento 3. En cuanto a la degradabilidad de la materia orgánica, en los periodos de incubación de 0, 3 y 12 horas, no se apreciaron cifras significativas con la introducción de la harina de maracuyá; sin embargo, en mayores tiempos de incubación se registró que la inmersión de harina de maracuyá produjo una disminución de la degradabilidad. Las degradabilidades de la fibra detergente neutra de los cuatro tratamientos a las 48 y 72 h de incubación denotaron valores óptimos. Asimismo, el tratamiento 4 registró una mejor respuesta en cuanto a la degradabilidad de fibra detergente ácida. Esta experiencia, nos demuestra que es posible incorporar harina de maracuyá bajo condiciones controladas, en la formulación de alimento para bovinos, permitiendo una disminución de los costos de producción del alimento y a la vez, colaborando con la disminución de la contaminación medioambiental.

Godoy et al. (2020), realizaron una investigación destinada a la caracterización nutricional y digestibilidad aparente *in vitro* de residuos agroindustriales procedentes de empresas dedicadas a la producción de aceite de palma, arroz, cacao, café, coco entre otros, detallados en la Tabla 3, en los cuales se evaluaron los parámetros detallados en la Figura 4.



**Figura 4.** Diagrama de parámetros evaluados en residuos agroindustriales en San Martín.

Este estudio se llevó a cabo en el departamento de San Martín, Perú. Los resultados registrados en la literatura científica, evidenciaron que los residuos agroindustriales con mayor potencial energético y buena “digestibilidad in vitro” fueron el nielen, polvillo de arroz y el arrocillo, los mismos que registraron los valores más óptimos de energía de lactación; asimismo, los residuos agroindustriales con mayor potencial proteico fueron la cascarilla de cacao y la torta de coco, con valores significativos de proteína cruda. Entre los residuos agroindustriales con valores significativos de “fibra detergente neutro”, destacan la cascarilla de arroz, fibra de palma y cáscara de palmito; sin embargo, solo la cáscara de palmito registró valores significativos de digestibilidad aparente in vitro. Los resultados de la literatura científica denotan que los residuos de las agroindustrias en zonas tropicales, presentan un gran potencial energético y proteico, que puede aprovecharse en la alimentación de ganado vacuno.

**Tabla 3.** Residuos agroindustriales evaluados bajo caracterización química y digestibilidad aparente in vitro

Residuos evaluados	Procedencia
Arrocillo	Bellavista, Rioja y San Martín
Cáscara de palmito	Lamas
Cáscara de arroz	Bellavista y San Martín
Cascarilla de cacao	San Martín y Mariscal Cáceres
Fibra de palma	Lamas y Tocache
Polvillo de arroz	Bellavista, Rioja y San Martín
Nielen	Bellavista, Rioja y San Martín
Torta de palmiste	Tocache
Torta de coco	Picota
Pulpa de café	Moyobamba

Fuente: (Godoy et al., 2020).

Ramírez-Cortina et al. (2012), realizaron un estudio en México, destinado a conocer las características del bagazo de agave y determinar su digestibilidad comparándola con otros tipos de forrajes. Para tales efectos, realizaron la caracterización fisicoquímica de este residuo agroindustrial considerando los parámetros de humedad, celulosas, fibra, pectinas, lignina, hemicelulosas, nitrógeno total, grasas, azúcares reductores, minerales y digestibilidad, para este último parámetro se aplicó adicionalmente, un tratamiento alcalino con hidróxido de calcio a concentraciones de 2, 5 y 10 % y humedades de 20 y 80 % bajo control, con el objetivo de mejorar la digestibilidad de la materia. La literatura científica reporta resultados de baja digestibilidad sin la aplicación de tratamiento alcalino, así también, nos muestra un incremento del 36 al 54,5 % con el tratamiento de  $\text{Ca(OH)}_2$  a una concentración del 10%, temperatura de 50 °C, 80 % de humedad en un tiempo de reacción de 24 h. En cuanto a la caracterización de los demás parámetros químicos evaluados, destaca la riqueza de “fibras lignocelulósicas”, las mismas que oscilan el 77 % de la materia seca, así también, la proporción de hemicelulosas, celulosa, y ligninas del bagazo de agave es comparable a la registrada en otros “residuos lignocelulósicos” tales como las pajas de cereales mexicanos y los desechos de aceite de girasol. Todos estos resultados nos muestran que el residuo agroindustrial evaluado, tiene las condiciones necesarias para ser aplicado como

sustituto de pastos forrajeros convencionales, previo tratamiento alcalino que mejore su digestibilidad.

### **3.3. Potencialidades para la fabricación de mampostería no convencional a través del aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria**

El aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria para la fabricación de mampostería no convencional es una actividad que viene siendo practicada con la finalidad de limitar la contaminación de los componentes naturales (agua, suelo y aire) y la afectación de la salud de las personas debido a la actividad realizada por las ladrilleras y la elevada generación de los residuos sólidos. Adicionalmente a lo mencionado, estudios como el de Matthey et al. (2015) enfatizan la importancia de generar nuevos e innovadores materiales de construcción con el uso de residuos con la finalidad de aminorar costos de producción y que el producto sea accesible para personas de escasos recursos económicos.

Molina et al. (2015), aprovecharon residuos agroindustriales derivados del arroz y cenizas volantes como complemento del cemento para la fabricación de ladrillos, ya que son residuos abundantes en la actividad agroindustrial en Colombia. El estudio determinó que es viable emplear cenizas industriales de las centrales térmicas en porcentajes desde el 10 al 20 %, ya que tras las pruebas de resistencia a la compresión, estas obtuvieron valores por encima de un ladrillo convencional patrón, por lo cual, a partir de su uso se estaría contribuyendo enormemente a la minimización de la contaminación medioambiental. A su vez, las cenizas de cáscara de arroz y aquellas que provienen de centrales termoeléctricas presentaron resultados alentadores como materiales complementarios del cemento hasta en un 10%, por lo que los autores concluyeron dichos desechos poseen un gran potencial de aprovechamiento para construcciones livianas y de uso no portante.

Veloso et al. (2021) realizaron una investigación vinculada al reemplazo parcial de yeso por residuos de cacao, un residuo muy común debido a la elevada cantidad de hectáreas dedicadas a este cultivo en Brasil, determinando que es posible emplear hasta un 8,15 % de cacao para poder satisfacer la densidad, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, resistencia térmica y aislamiento acústico del nuevo ladrillo fabricado, demostrando el gran potencial que representaría este residuo en la industria ladrillera, siendo de vital importancia el estudio de otros tipos de residuos de la agroindustria para la elaboración de mampostería no convencional. Asimismo, la fabricación de este tipo de materiales eco amigables, al ser desarrollados a gran escala, pueden representar una alternativa sostenible que termine compitiendo con la industria ladrillera debido a su gran valor agregado. Como parte de su estudio de factibilidad, todo material que se encuentre siendo evaluado para fabricar mampostería no convencional, con el fin de asegurar la seguridad, permanencia y continuidad de su uso, requiere de la realización de ciertas pruebas ad hoc como se evidencia en la Figura 5.



**Figura 5.** Pruebas necesarias para determinar la viabilidad de uso de mampostería no convencional.

#### **3.4. Potencialidades para la recuperación de medios contaminados a través del aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria**

El auge de industrias textiles, plásticos y de curtiembre producen aguas residuales con diversos contaminantes nocivos, entre ellos se encuentran los colorantes. Según Broche-Galido et al. (2022) específicamente las aguas residuales coloreadas representan un grave problema medioambiental y de salubridad pública, porque no solo afectan al paisaje natural, sino también contaminan fuentes de agua natural, inciden negativamente en las cadenas alimentarias acuáticas llegando hasta el hombre con sustancias tóxicas y carcinogénicas. Rosas (2012), señalan que existen aproximadamente 100,000 variedades de colorantes en el mercado cuya producción oscila entre  $7 \times 10^5$  a  $1 \times 10^6$  toneladas anualmente y son utilizadas en diversas industrias tales como: textilera, papelería, curtiembre, plástica, farmacéutica, cosmética y alimentaria. Estas industrias, en su mayoría, liberan al medio ambiente, sin tratamiento alguno, las aguas residuales de sus actividades; se estima que estas aguas presentan aproximadamente entre el 10 al 15 % de los colorantes usados, generando un alto impacto negativo. En tal sentido, existen múltiples alternativas de remediación de medio contaminados y sin duda, una de las formas más interesantes y con buen potencial de lograrlo es a través del aprovechamiento de residuos agroindustriales, debido a su elevado nivel de generación y a la promoción de la denominada tecnología verde.

En Colombia, Ardila et al. (2018) emplearon cáscara de piña para remover colorantes típicos (verde, azul y rojo) de la industria textil como adsorbentes, para tales efectos, de utilizaron cascaras de piña recién extraídas de dos tipos del Urabá antioqueño y del Chocó; los investigadores realizaron la preparación previa de las cascaras lavándolas con agua caliente para

luego secarlas a 90 °C en un horno de convección por espacio de 2,5 horas, esta preparación también contempló un proceso de reducción de tamaño y tamización; por otra parte, se prepararon las soluciones con los contaminantes a la misma proporción con los colorantes rojo, azul y verde. Los resultados del estudio evidenciaron que es posible remover los colorantes hasta en un 60 %, asimismo el estudio reveló que las cáscaras del Urabá presentaron ligeramente una mayor efectividad en la remoción de colorantes en comparación con las otras cáscaras. Los autores concluyeron que este tipo de residuo agroindustrial es efectivo en alivianar la carga contaminante de efluentes de la industria textil.

Por otra parte, también en Colombia, A. Moreno et al. (2012), utilizaron cascarilla de arroz como adsorbente para la remoción de azul de metileno presente en la industria textil y de pinturas. Los investigadores previamente realizaron la preparación del desecho lavándolo con agua desionizada, y secándolo por espacio de 24 h a 80 °C, posteriormente se realizó una molienda y tamizado, logrando partículas con diámetros entre 0,25-0,75 mm. Asimismo los autores realizaron la preparación de las soluciones del colorante entre 1,0 y 15 mgL<sup>-1</sup>. El proceso de remoción del colorante fue efectuado de manera discontinua considerando la modificación del pH en intervalos de 2,0-12. En cuanto al diseño estadístico, el estudio utilizó el “diseño factorial completo de cribado”, considerando como variables la concentración del contaminante, pH, dosificación del adsorbente y el tiempo de contacto. Los resultados de esta investigación reflejaron que la absorción del colorante es más efectiva a un pH de 5,0, asimismo, se logró remover hasta el 99 % del colorante, esta cifra permite considerar a la cascarilla de arroz como un buen adsorbente de colorantes de tipo catiónico.

Asimismo, diversas empresas, tales como las metalúrgicas, textiles, de fabricación de baterías, cerámicas, pinturas, vidrios, entre otras, vierten al medio ambiente residuos altos en metales pesados que se solubilizan en agua e ingresan luego a las cadenas alimentarias en el ecosistema. Según Tejada-Tovar et al. (2021), los principales metales pesados identificados en fuentes de agua natural y el suelo son: cromo, cadmio, plomo, níquel y zinc; la mayoría de estos metales, desde trazas pequeñas, son altamente nocivos para el ser humano y los demás seres vivos, pudiendo ocasionar diversos padecimientos que van desde una dermatitis hasta el cáncer y problemas degenerativos en el sistema nervioso. Por lo tanto, desarrollar nuevas tecnologías para remover metales pesados en el agua y el suelo, constituye un gran desafío debido a que las tecnologías tradicionales presentan costos elevados, en ese entender, la bioadsorción puede convertirse en una opción más viable económicamente a la vez que puede colaborar en minimizar el impacto ambiental de los residuos agroindustriales en el medio ambiente. Una de las tecnologías prometedoras es la fabricación de biofiltros, según Garzón-Zúñiga et al. (2012) la biofiltración en un mecanismo innovador que puede tratar de manera simultánea medios contaminados tanto líquidos como gaseosos aprovechando la capacidad de adsorber y absorber contaminantes que presentan ciertos sustratos de origen orgánico además que favorecen la proliferación de microorganismos con capacidad de biodegradación de diversos contaminantes.

Dávila-Martínez et al. (2017) fabricaron biofiltros empacados con bioadsorbentes obtenidos a partir de cáscaras de naranja y cáscaras de plátano en Colombia. Previa a la elaboración de los biofiltros, los investigadores realizaron un lavado de las cáscaras a temperatura ambiente con agua destilada y procedieron a secarlas por espacio de doce horas a 120 °C, posteriormente, estos materiales se sometieron a un proceso de reducción de tamaño, para luego reservarse a temperatura ambiente oscilante a 23 °C en contenedores de vidrio de color ámbar. En la experimentación, los biofiltros elaborados fueron sometidos a agua residual de curtiembre,

logrando una remoción del 93 % de Cr (VI) al utilizar un 30 y 70 % de biomasa de naranja y plátano, respectivamente. Este estudio logró demostrar que los biofiltros con mayor proporción de plátano pueden remover casi todo el Cr (VI) presente en el agua contaminada, por lo cual, los autores concluyeron que el plátano es una biomasa prometedora para la remediación de aguas contaminadas por Cr (VI).

Por otra parte, Tejada et al. (2016) emplearon partículas de zuro de maíz y cáscara de naranja para la remoción de Pb (II) presente en agua residual sintética elaborada en un laboratorio. Los resultados de este estudio reflejaron que en cuanto al zuro de maíz existe una mayor capacidad de remoción del contaminante a un diámetro de 0,5 mm; no obstante, ese menor tamaño de partícula tuvo repercusión negativa en la adsorción, probablemente por una mayor aglomeración. Asimismo, el estudio evidenció, en el caso del zuro de maíz, que el porcentaje de adsorción se incrementa cuando se aumenta el pH, identificando un valor de pH 7 como parámetro más ideal: Con estos resultados, los autores concluyeron que es factible remover Pb (II) hasta en un 67,5 % y 99,2 % a partir del uso de biomasa de zuro de maíz y cáscara de naranja, respectivamente; por lo cual, la cáscara de naranja sería un potencial bioadsorbente por ser económico y amigable con nuestro planeta. Esta investigación también se realizó en el país colombiano, lugar en el que se viene llevando a cabo una loable labor de investigación referida a temas medioambientales vinculados a la remediación de medio contaminados.

### **3.5. Potencialidades para la obtención de bioenergéticos a través del aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria**

Desde hace varias décadas atrás, los seres humanos estamos afrontando la vertiginosa variabilidad de las condiciones climatológicas en todo el mundo; en el caso de la agricultura, buscamos constantemente mejorar procesos productivos en el campo, la adaptación de cultivos y hasta la generación de especies con mejores condiciones genéticas para brindarnos mayor biomasa y adaptarse con facilidad a los cambios climáticos y a nuevas tecnologías de cultivo (Platas et al., 2016). Sin embargo, el calentamiento global constituye un problema mucho más grande, Monteny et al. (2006), señala que los responsables indirectos del calentamiento global son las abundantes emisiones de gases invernaderos entre ellos monóxido de nitrógeno, dióxido de carbono y metano generados por medio de la quema de combustibles fósiles convencionales utilizados en la actividad humana. Por ende, la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan la obtención de energías limpias y combustibles es uno de los grandes retos de la humanidad en la actualidad.

Agüero-Rodríguez et al. (2015), señala que la generación de biocombustibles data de finales del siglo pasado, no solo como una alternativa para mitigar el impacto ambiental de los combustibles convencionales, sino también a raíz de una silenciosa crisis en la producción de combustibles fósiles que viene extendiendo alrededor de todo el mundo. Bajo ese escenario, el aprovechamiento de los residuos agroindustriales con este fin se perfila como una alternativa que puede frenar el calentamiento global reduciendo la explotación de los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) que generan un grave impacto ambiental producto de su combustión, además de su gran aporte bioenergético complementario al existente.

Muñoz et al. (2014) realizaron una investigación en Costa Rica, destinada a evaluar el aprovechamiento de diversos residuos agroindustriales tales como afrecho de yuca, polvillo de fique, bagacillo de caña y sus mezclas en la generación de biocombustibles; los investigadores previamente, identificaron las propiedades físico-químicas de los residuos, seguidamente

formularon 7 sustratos, tres de ellos de residuos puros y cuatro de mezclas a diferentes concentraciones. En los siete sustratos, los investigadores identificaron propiedades vinculadas a la generación de energía y al proceso de combustión y generación tales como: poder calorífico, humedad, cenizas nitrógeno, carbono, hidrogeno; adicionalmente se realizó un análisis granulométrico. Los resultados de este estudio evidenciaron que todos los sustratos experimentados presentan la posibilidad hidrolizarse; asimismo, se identificaron que el bagacillo de caña y el polvillo de fique puros, además de la mezcla con 10 % bagacillo de caña, 30 % de polvillo de fique y 60 % de afrecho de yuca son los sustratos con mejores condiciones para ser aprovechados en la generación de biocombustibles, adicionalmente todas las muestras pueden ser aprovechadas en zonas rurales como biomasa para hornos y calderas teniendo en consideración sus ideales propiedades de humedad, ceniza, carbono, hidrógeno, nitrógeno, celulosa, hemicelulosa, lignina y poder calorífico interior.

Montoya-Pérez & Durán-Herrera (2017), realizaron un estudio de aprovechamiento de residuos agroindustriales tales como el corazón de piña y lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales pre tratados térmicamente en la generación de hidrógeno. El mecanismo de generación de hidrogeno, contempló un proceso de fermentación anaeróbica de los residuos de piña usando como inóculo los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua. El estudio logró evaluar el rendimiento de la generación de hidrógeno en base a los parámetros de pH del medio de fermentación, concentración del sustrato, y formación de nutrientes. Los resultados de este estudio evidenciaron mejores resultados a un pH de 5,5 en la etapa inicial, concentración de 5 (g de glucosa) /L y formulación de nutrientes en base a sodio, magnesio, zinc y hierro; asimismo, a nivel de un biorreactor se logró apreciar un rendimiento máximo de 1,541 (mol H<sub>2</sub>)/(mol glucosa) reafirmando el gran potencial de este tipo de residuo agroindustrial en la síntesis de hidrógeno.

#### 4. Conclusiones

Después del análisis de los 15 estudios experimentales escogidos para elaborar el presente artículo de revisión, identificamos un gran potencial de aprovechamiento de los residuos agroindustriales en diferentes áreas productivas; asimismo, llegamos a la conclusión de que en muchos países aún nos falta investigar en diversas líneas de aprovechamiento y valoración económica de los residuos agroindustriales, puesto que constituyen una gran cantidad y variabilidad de biomasa disponible para su transformación, la misma que puede colaborar a disminuir de los niveles de polución en las ciudades. Específicamente, la revisión de la literatura científica demuestra que existe un gran potencial de aprovechamiento de los residuos agroindustriales en la elaboración de abonos con la aplicación de diferentes técnicas de compostaje bajo condiciones controladas de humedad, pH y temperatura. Los resultados de las diferentes investigaciones analizadas denotan la efectividad de los abonos producidos en el crecimiento y cualidades de las plantas evaluadas en cada tratamiento, tanto en aquellas ubicadas en suelo definitivo como en las plántulas de viveros. La generación de abonos orgánicos utilizando desechos de las agroindustrias, propicia también la articulación cada vez más estrecha del sector agrícola con el sector industrial y contribuye en aminorar el problema del manejo de desechos agroindustriales y sus efectos negativos para el medio ambiente.

Por otra parte, las diferentes investigaciones analizadas en el presente artículo de revisión nos denotan un gran potencial de aprovechamiento de los residuos agroindustriales en la elaboración de alimento balanceado para animales. Tomando en consideración la composición química,

aporte nutricional y digestibilidad de los residuos agroindustriales, se pueden elaborar diversas dietas para animales de interés económico como el ganado vacuno, colaborando con solucionar parte de la problemática del sector ganadero, derivada de la estacionalidad y la escasez de pastos y forrajes. Asimismo, los estudios experimentales nos demuestran científicamente que se pueden utilizar ciertos desechos de la actividad agroindustrial en sustitución de productos convencionales como el maíz, lo mismo que constituye una oportunidad de disminución de costos en el proceso de elaboración de alimento balanceado. No se identificaron estudios que analicen la aplicabilidad de los residuos agroindustriales en la formulación de alimento balanceado para otras especies de interés económico como las aves de cría, cerdos y peces, este aspecto nos abre un campo de investigación interesante que puede contribuir a la sostenibilidad de la actividad ganadera en general. En otro ámbito, identificamos que existe potencial de aprovechamiento de residuos agroindustriales para la fabricación de mampostería no convencional, ya que en los estudios realizados en los que se emplearon residuos de cacao, cascarillas de arroz, cenizas de cascarilla de arroz y ceniza de centrales térmicas, de forma complementaria al material convencional, se obtuvieron resultados alentadores que mostraron que los nuevos ladrillos cumplieron con las propiedades de resistencia térmica, resistencia a la tensión, absorción de agua y aislamiento acústico que los hacen susceptibles para construcciones no portantes y livianas. Asimismo, se identificó un interesante potencial de los desechos agroindustriales en la recuperación de medios contaminados; los estudios realizados en los que se emplearon el zuro de maíz y la cáscara de naranja como biomasa, denotaron la posibilidad de remover grandes porcentajes de Plomo (II) presentes en una solución sintética; asimismo, empleando cáscara de naranja, pero principalmente cáscara de plátano se evidenció que es posible remover Cromo (VI) presente en aguas residuales de procesos de curtiembre; mientras que, utilizando cascarilla de arroz y cáscara de piña como adsorbentes, fue posible remover la contaminación generada a partir colorantes típicos de la industria textil. Finalmente, este estudio de revisión identificó un prometedor potencial de aprovechamiento de residuos agroindustriales para la obtención de bioenergéticos, ya que en las investigaciones desarrolladas en las que utilizaron corazón de piña apoyados de lodos pre tratados como inóculos para la generación de hidrógeno, se obtuvieron resultados positivos y que pueden ser sostenibles en el tiempo; asimismo, se pudo evidenciar que tanto el bagacillo de caña, como el polvillo de fique y el afrecho de yuca son residuos que pueden ser empleados en zonas rurales como biomasa para hornos y calderas teniendo en consideración sus ideales propiedades de humedad, ceniza, carbono, hidrógeno, nitrógeno, celulosa, hemicelulosa, lignina y poder calorífico interior.

Se recomienda seguir realizando investigaciones vinculadas al aprovechamiento de residuos agroindustriales ya que la gran diversidad de productos empleados en esta industria podría permitir descubrimientos de gran contribución científica en la búsqueda del desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida de nuestra sociedad.

### **Financiamiento**

Ninguno.

### **Conflicto de intereses**

Ninguno.

### **Contribución de autoría**

Conceptualización y Metodología: Luzbenia Analí Motta Machicado y Leo Ulises Michael Tirado Rebaza

## Referencias bibliográficas

- Agüero-Rodríguez, J. C., Tepetla-Montes, J., & Torres-Beristáin, B. (2015). Producción de biocombustibles a partir de la caña en Veracruz, México: Perspectivas y riesgos socio-ambientales. *CienciaUAT*, 9(2), 74-84.
- Aguirre-Forero, S. E., Piraneque-Gambasica, N. V., & Cabarcas-Saumeth, D. E. (2022). Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. *Entramado*, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8063>
- Alzate, L. M., Jiménez, C., & Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción + Limpia*, 6(1), 108-127.
- Ardila, C., María, Á. M., & Barrera, R. (2018). Cáscara de Piña como Adsorbente de Colorantes Típicos de la Industria Textil. *Ciencia en Desarrollo*, 9(2), 161-168. <https://doi.org/10.19053/01217488.v9.n2.2018.7689>
- Azula-Barrera, M. C. (2023). Validación del compost producido a partir de especies invasoras como sustrato de propagación en el proceso de restauración ecológica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 1-19. <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.12>
- Brenes-Peralta, L. P., Jiménez-Morales, M. F., & Campos-Rodríguez, R. (2020). Food waste valorization through composting and bio-drying for small scale fruit processing agro-industries. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 23(1), e9623. <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i1.9623>
- Broche-Galido, M., Rodríguez-Rico, I., Pérez-Villar, M., & Prieto-García, J. O. (2022). Equilibrio y modelos cinéticos en la adsorción de azul de metileno sobre residuos agroindustriales. *Tecnología Química*, 42(3), 420-434.
- Callejas, R., Silva, Á., Peppi, C., & Seguel, Ó. (2015). Factibilidad agronómica del uso de vinaza, subproducto de la fabricación del pisco, como biofertilizante en viñedos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 230. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3216>
- Castillo, E., Acosta, Y., Betancourt, N. N., Castellanos, E. L., Matos, A. M., Cobos, V., & Jover, M. (2002). Utilización de la pulpa de café en la alimentación de alevines de tilapia roja. *AquaTIC: revista electrónica de acuicultura*, 16(1), 411-419.
- Chambi, F., Chirinos, R., Pedreschi, R., Betalleluz-Pallardel, I., Debaste, F., & Campos, D. (2013). Antioxidant potential of hydrolyzed polyphenolic extracts from tara (*Caesalpinia spinosa*) pods. *Industrial Crops and Products*, 47, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.009>
- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9(S1), 122-132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
- Da Costa, C. C. (2022). La Economía Circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*, 35, 1-18.
- Dávila-Martínez, T. A., Sánchez-Peña, N. E., Ordoñez-Erazo, D. A., Muñoz, J. F., & Benítez, R. (2017). Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15(Edición especial), 49-58. <https://doi.org/10.18684/BSAA>
- De Carvalho, A., Antunes, C., & Freire, F. (2016). Economic-energy-environment analysis of prospective sugarcane bioethanol production in Brazil. *Applied Energy*, 181, 514-526. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.122>

- Debernardi-Vazquez, T. de J., Aguilar-Rivera, N., & Nuñez-Pastrana, R. (2020). Composting of byproducts from the orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) agroindustries. *Ingeniería e Investigación*, 40(3), 81-88. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n3.82877>
- Dihigo, L. E., Savón, L., Hernández, Y., Domínguez, M., & Martínez, M. (2008). Caracterización físico-química de las harinas de morera (*Morus alba*), pulpa de cítrico (*Citrus sinensis*) y harina de caña (*Saccharum officinarum*) para la alimentación de los conejos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(1), 65-69.
- Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(3), 153-161.
- Godoy, D. J., Daza, R., Fernández, L. M., Layza, A. E., Roque, R. E., Hidalgo, V., Gamarra, S. G., & Gómez, C. A. (2020). Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(2). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num2\\_art:1374](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1374)
- Gonzalez, R., Romero, O., Valdivie, M., & Ponce, J. T. (2014). Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Revista Bio Ciencias*, 2(4), 240-251. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15741/revbio.02.04.02>
- Hernández, S., & Corredor, L. R. (2016). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*, 15(1), 57-76.
- Jara, E. L., Leiva, F. A., Martin, E. A., Medina, K. M. E., Bardales, C. B., & León, C. A. (2022). Los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de La Libertad y la producción de biomasa de *Candida utilis* var. major. *Arnaldoa*, 29(1), 163-176. <https://doi.org/https://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29110>
- Madrigal-Valverde, Á., & Garbanzo-León, G. (2018). Uso de residuos agroindustriales en previveros de palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Arecaceae): crecimiento y absorción de nutrimentos. *UNED Research Journal*, 10(2), 257-266. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2157>
- Mattey, P. E., Robayo, R. A., Díaz, J. E., Delvasto, S., & Monzó, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2), 285-294.
- Molina, N. F., Fragozo Tarifa, O. I., & Vizcaíno Mendoza, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99. <https://doi.org/10.18359/rcin.1434>
- Monteny, G.-J., Bannink, A., & Chadwick, D. (2006). Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2-3), 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.015>
- Montoya-Pérez, L., & Durán-Herrera, J. E. (2017). Producción de Hidrógeno a partir de la fermentación de residuos agroindustriales de la piña. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(3), 106. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i3.3277>
- Moreno, A., Figueroa, D., & Hormaza, A. (2012). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *Producción + Limpia*, 7(1), 9-18.
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 11(3), 184-186. <https://doi.org/10.4067/S0719-01072018000300184>

- Muñoz, D., Pantoja, A., & Cuatin, M. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(1), 10-19.
- Platas, D. E., Zetina, P., Vilaboia, J., & Martínez, R. (2016). Adaptación y mitigación del cambio climático con la producción de bioenergéticos en suelos marginales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(15), 2857-2866.
- Ramírez-Cortina, C. R., Alonso-Gutiérrez, M. S., & Rigal, L. (2012). Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVIII(3), 449-457. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.08.059>
- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C., & López-Rodríguez, D. F. (2019). Perspectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 30-52.
- Rosas, J. M. (2012). *Aplicación de residuos agrícolas para el tratamiento de agua contaminada con colorantes*. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de León].
- Sánchez, A. R., Torres, E., Espinoza, Í., Montenegro, L., Barba, C., & García, A. (2019). Valoración nutricional in situ de dietas con harina de maracuyá (*Passiflora edulis*) en sustitución del maíz (*Zea mays*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 149-157. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.14438>
- Silva-Alvarado, P. M., Orozco-Crespo, E., Verduga-Alcívar, D. A., Diéguez-Santana, K., Ruiz-Cedeño, S. del M., & Sablón-Cossío, N. (2023). Prospective of the circular economy in a banana agri-food chain. *Tec Empresarial*, 17(1), 34-52. <https://doi.org/10.18845/te.v17i1.6475>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., Cortina-Góngora, W., Díaz-Navarro, B., & Ortega, R. (2021). Use of agro-industrial residues of plantain (*Musa paradisiaca*) in the adsorption of Ni (II). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 103, 138-151. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210428>
- Tejada, C., Herrera, A., & Núñez, J. (2016). Remoción de plomo por biomásas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.126>
- Vargas, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Veloso, M. C. R. de A., Villela, L. S., Mesquita Júnior, L., Valle, M. L. A., Mendes, L. M., & Guimarães Júnior, J. B. (2021). Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26(1). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210001.1245>
- Yoplac, I. J., Goñas, K., Bernal, W., Vásquez, H. V., & Maicelo, J. L. (2021). Caracterización química y digestibilidad in vitro de semillas y subproductos agroindustriales amazónicos con potencial para alimentación animal. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(3), e18765. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.18765>