

Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento

Santiago Aguiar Novillo^{1*}, Miguel Enríquez Estrella¹, Hernán Uvidia Cabadiana¹

¹Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Tierra. Puyo, Pastaza, Ecuador

*Autor para correspondencia: santini_aguiar@yahoo.es

Recibido: 2022/05/09 Aprobado: 2022/10/11

DOI: <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>

RESUMEN

El manejo inadecuado de residuos, desechos sólidos y otros subproductos por parte de las empresas agroalimentarias incide directamente sobre el equilibrio medioambiental. El artículo tuvo como objetivo analizar los principales factores que influyen en el impacto, manejo y aprovechamiento de los residuos agroindustriales para mejorar la calidad medioambiental y desarrollar economía circular. Se desarrolló aplicando un enfoque mixto de nivel exploratorio mediante la revisión bibliográfica sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Se seleccionaron artículos en revistas científicas, libros, tesis, informes, entre otros, en un periodo 2018-2021, de los cuales se recopiló información fiable para identificar los diferentes tipos de residuos de orden biodegradable provenientes de industrias alimentarias (bagazo, cachaza, cascarilla de arroz, rastrojo de maíz, lacto suero, subproductos cítricos, cáscara de plátano, residuos hortofrutícolas), así como las principales tecnologías usadas para aprovechar estos subproductos (químico-biológica, bioenergética, tratamiento ambiental, pirólisis, gasificación, combustión, síntesis, hidrólisis, fermentación, separación de productos) mediante la construcción de tablas descriptivas. Se determinó que los principales factores que inciden directamente en la contaminación ambiental a través de residuos agroindustriales son la gestión ineficiente de residuos biodegradables, y el manejo y disposición final inadecuados. Además, se determinó que existe una alta gama de alternativas para procesar residuos agroindustriales, como biocombustibles, alimentos funcionales, bioplásticos, estructuras celulósicas, materiales biodegradables, así como una marcada tendencia hacia la investigación de la composición, manejo, aplicaciones y usos de residuos agroindustriales en la región. El manejo adecuado y eficiente de estas materias primas permite generar desarrollo sostenible en la sociedad, reducción de la contaminación ambiental y la formación de economía circular.

Palabras clave: residuos agroindustriales, manejo, aprovechamiento

ABSTRACT

The inadequate management of waste, solid waste and other by-products by agri-food companies has a direct impact on the environmental balance. This article aimed to analyze the main factors that influence the impact, management and use of agro-industrial waste to improve environmental quality and develop circular economy. It was developed applying a mixed approach of exploratory level through the bibliographic review on the use of agro-industrial waste by selecting articles in scientific journals, books, theses, reports among others in a period between 2018-2021 where reliable information was collected to identify the different types of biodegradable waste (bagasse, cachaça, rice husk, corn stubble, whey lacto, citrus by-products, banana peel, fruit and vegetable residues), from food industries as well as the main technologies used for the use of these by-products (chemical-biological, bioenergetic, environmental treatment, pyrolysis, gasification, combustion, synthesis, hydrolysis, fermentation, separation of products) through the construction of descriptive tables. It was determined that the main factors that directly affect environmental pollution through agro-industrial waste are: inefficient management of biodegradable waste, inadequate management and final disposal; It was also determined that there is a high range of alternatives for the processing of agro-industrial waste such as: biofuels, functional foods, bioplastics, cellulosic structures, biodegradable materials and a marked trend towards the investigation of the composition, management, applications and uses of agro-industrial waste in the region. The proper and efficient management of these raw materials allows to generate sustainable development in society, reduction of environmental pollution and the formation of circular economy.

Keywords: waste agro-industrial, management, exploitation

Santiago Aguiar  orcid.org/0000-0002-1971-7330

Miguel Enríquez  orcid.org/0000-0002-8937-9664

Hernán Uvidia  orcid.org/0000-0002-2961-6963



INTRODUCCIÓN

Según Quevedo (2013), la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define a la agroindustria como el conjunto de actividades manufactureras a través de las cuales se generan diversos productos a partir materias primas provenientes de la actividad agropecuaria. Es decir, la agroindustria consiste en transformar materias primas de origen animal o vegetal en artículos con valor agregado mediante una serie de procesos industriales. Merchan et al. (2017) anotan que la agroindustria tiene sus orígenes durante la Primera Guerra Mundial, debido al incremento en los niveles de producción agrícola y el desarrollo de nuevas tecnologías para el procesamiento, envasado y empaque de alimentos. Por esto, para esta nueva actividad agropecuaria e industrial se acuña en Europa y Estados Unidos el término '*agrobusiness*' conocido posteriormente en Sudamérica como 'agroindustria'.

La actividad agroindustrial está integrada por varios sistemas agroproductivos según el tamaño, origen, función, entre otras categorías. En este contexto, Vargas y Pérez (2018) indican que la agroindustria puede sintetizarse en dos tipos: por un lado están las industrias alimentarias (lácteas, cárnicas, hortofrutícolas) y no alimentarias (textil, maderera, abonos); por el otro, se encuentran las industrias abastecedoras de materia prima (producción de harinas, especias) y las procesadoras de esas materias primas (balanceados, precocidos).

La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia reportó que en 2016 la actividad agroindustrial representó cerca del 16% (2,6 mil millones de dólares) de las exportaciones a escala mundial; además, explican que debido al crecimiento poblacional global este sector económico crecerá. Fal y Allami (2017) indican que en los últimos veinte años varios organismos internacionales han publicado una serie de documentos enfocados hacia el análisis de la participación del sector agrícola y agroindustrial en el desarrollo económico de las naciones. Por ejemplo, el Banco Mundial señala que se ha demostrado en varios países (México, China, Brasil y Taiwán) el aporte de los sistemas agroalimentarios en el crecimiento del PIB, la reducción de la pobreza, creación de empleo, entre otros beneficios.

La Cámara de Industrias de Guayaquil (2020) informó que en 2018 el sector agroindustrial aportó con el 6,2 % al PIB de Ecuador, y que lo más representativo en esta actividad económica fue la producción de cárnicos (1,02 %), camarón (1,08 %) y bebidas (1,00 %). La industria agroalimentaria genera una diversidad de subproductos o residuos propios de su actividad, los cuales, al no ser tratados adecuadamente, se transforman en agentes contaminantes para el medio ambiente y la salud humana.

Según Riera et al., (2018), Ecuador genera un estimado de 2,2 millones de toneladas anuales de residuos agroindustriales, que son, en su mayoría, desechos lignocelulósicos o compuestos de almidón; es decir, existe una enorme cantidad de materia prima disponible para fabricar nuevos productos con potencial sostenible, biotecnológico e innovador. Existen datos que posicionan a los subproductos del procesamiento de arroz y maíz como los mayores residuos agroindustriales del país. El manejo inadecuado de estos residuos por parte de las empresas agroalimentarias incide directamente sobre el equilibrio medioambiental, pues, al ser quemados o arrojados en botaderos a cielo abierto o terrenos baldíos, se produce grave contaminación sobre el suelo, el agua y otros espacios naturales. Esto afecta principalmente a la flora y fauna de estos espacios y, consecuentemente, a la salud y economía social. Cabe

recalcar que debido a sus características físicas, químicas y biológicas, los residuos agroindustriales poseen un enorme potencial aprovechable para diversas aplicaciones.

Cury et al. (2017) indican que en Colombia la producción quesera genera unos 90 millones de litros de lactosuero, un subproducto altamente contaminante si se maneja inadecuadamente pero con similares características nutricionales a la harina de trigo (357 kcal/100g).

En este contexto, Victoria et al (2017) manifiestan que actualmente existen numerosas investigaciones para recuperar y aprovechar residuos agroindustriales según su procedencia. En este sentido, la obtención de energías renovables (Montoya-Pérez y Durán-Herrera, 2017), bioplásticos (Calero Zurita et al., 2021), biocombustibles (Claudio et al., 2021), glicerol (Polich, 2019), hongos comestibles (Aguilar, 2020), compost (Cazáres et al., 2016), tratamientos de desechos agroindustriales con microorganismos (Rosero, 2017), estructuras celulósicas (Zuluaga et al., 2019) son un ejemplo sobre cómo transformar esta fuente de posible contaminación en materias primas aprovechables.

Esta investigación tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica de los principales factores que inciden en el impacto, manejo y aprovechamiento de los residuos agroindustriales para mejorar la calidad medioambiental, así como generar réditos económicos de estos subproductos. El criterio de búsqueda se centró en el aprovechamiento de residuos agroindustriales para desarrollar nuevos productos, varios tipos de usos para los subproductos generados por la actividad agroalimentaria, como materiales de nuevos envases, obtención de biomasa y alimento para animales, etc.

MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló aplicando un enfoque mixto de nivel exploratorio, mediante la revisión bibliográfica sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Se seleccionaron artículos en revistas científicas en un periodo entre 2018 y 2021, que corresponde a una investigación teórica con un enfoque documental. Esta se ajusta a la selección y recopilación de información por medio de la lectura crítica de documentos y materiales bibliográficos respecto al impacto, manejo y aprovechamiento de los residuos agroindustriales, con el fin de tener antecedentes para profundizar en las teorías y aportaciones ya emitidas sobre el tema que es el principal estudio.

El método que se utilizó para determinar el impacto, manejo y aprovechamiento de los residuos agroindustriales fueron revisiones bibliográficas en fuentes académicas como artículos científicos, libros, revistas técnicas, proyectos de tesis, entre otros. Se recurrió también a bibliotecas electrónicas y bases científicas como Pubmed, Scielo, Dialnet, Science Direct, Wiley, además de buscadores como Google Scholar, con palabras clave tales como subproductos agroindustriales, manejo de residuos, valorización biológica, biocombustibles. A través de esta revisión bibliográfica se identificaron los principales factores que inciden en el impacto, manejo y las tecnologías para aprovechar los residuos agroindustriales.

Los pasos para cumplir el objetivo propuesto son derivados de la metodología prisma de revisión sistemática y se pueden sintetizar en revisión documental e identificación de factores; jerarquización de factores problema y definición de alternativas para la solución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente artículo cuenta con 51 fuentes bibliográficas consultadas sobre el impacto, manejo y aprovechamiento de residuos agroindustriales, las cuales se detallan por cada año en la tabla 1.

Tabla 1. Consulta de artículos sobre el impacto, manejo y aprovechamiento de residuos agroindustriales

Año	No. de fuentes bibliográficas	Ritmo de crecimiento %
2008 – 2012	5	9,80 %
2013 – 2017	22	43,13 %
2018 – 2021	24	47,05 %

Como lo detalla la tabla anterior, la mayor tendencia de estudios e investigaciones respecto al impacto, manejo y aprovechamiento de residuos agroindustriales se concentra entre los años 2018 y 2021, lo cual indica un mayor porcentaje de investigación, que representa el 47,05 %.

Residuos agroindustriales según su industria

Residuos de procesamiento de frutas

Según Morales Castaño et al. (2019), las industrias que procesan frutas generan residuos como hojas, semillas, cáscaras, estopa, vástago, que, al no darles un adecuado tratamiento, se convierten en fuente de contaminación ambiental y en un problema económico por los costos para realizar la disposición final. Hurtado Benavides (2013) explica que entre el procesamiento de aceites vegetales como soya, palma, maní, sachá inchi, entre otras especies se producen residuos con potencial cosmético. De manera similar en las semillas de guanábana, lulo, la luffa cilíndrica, residuos de mora y tomate de árbol se hallaron cantidades promisorias de ácidos grasos (oleico, linoleico, esteárico etc.), utilizados ampliamente en la agroindustria cosmética. En la tabla 2 se detallan algunas frutas empleadas por empresas agroindustriales de Medellín, Colombia, para obtener productos y la cantidad de residuos generados en estos procesos industriales diariamente.

Tabla 2. Relación de residuos generados por empresas agroindustriales en Medellín, Colombia

Empresa	Fruta	Cantidad total de residuos (kg/día)
1	Guayaba, piña	3,3
2	Tomate de árbol, mango, papaya, sandía	1000
3	Maracuyá, mango, piña	8000
4	Naranja, guayaba	1233

Fuente: Adoptado de Rojas et al., 2019

Residuos de la industria azucarera

Grande Tovar (2016) indica que durante la producción de azúcar se obtiene un tallo fibroso como subproducto, compuesto por: celulosa (50%), hemicelulosa (25 %), lignina (25 %) y compuestos almidonados que favorecen a la fermentación; se emplea para generar electricidad, papel, etanol etc. Actualmente también se está utilizando el bagazo como

sustrato sólido para producir hongos comestibles. La cachaza también es un desecho de esta industria y se usa para producir bioetanol, biodiésel, abono enriquecido para el tratamiento de suelos, etc.

Residuos de la industria cafetalera

La agroindustria cafetalera produce muchos residuos con importantes aplicaciones y usos como la pulpa, que se estima en unos 400 kg por cada tonelada de café procesada durante la etapa de despulpado y se puede utilizar para obtener bebidas fermentadas o azucaradas. También está la borra de café, que se produce durante el secado del grano y se calcula que compone el 10 % de cada kilogramo cosechado de café; el residuo se usa como abono orgánico después del proceso de compostaje (Rosas-Calleja et al., 2016).

Residuos de la industria láctea

Esta industria produce cantidades enormes de residuos o subproductos, principalmente el lactosuero que, si no se manejan de manera adecuada, se transforman en graves contaminantes potenciales para el medioambiente debido a su frecuente disposición final en efluentes o acuíferos aledaños a la empresa. Se estima que en la leche empleada para producir queso se genera un 85 % de lactosuero. Muchas industrias lácteas aprovechan este subproducto para elaborar crema de untar, proteína en polvo, suero en polvo desmineralizado, quesillo, mozzarella, etc. (Cury R et al., 2017). En la tabla 3 se establece un conjunto de usos y aplicaciones para el lactosuero en la industria alimentaria.

Tabla 3. Algunas aplicaciones del lactosuero

Producto	Observaciones
Salchichón y jamón	Uso de WPS y WPI en 66,17 % en concentración como emulsificante
Alimento para cerdos	Combinación de lactosuero (8,4 kg/día) y cebada de trigo
Jugo de lactosuero	Bebidas saborizadas a base de lacto suero
Hidrolizados de proteína	Obtención de oligopéptidos para ser usados en fórmulas para infantes
Bioetanol	Lactosuero líquido fermentado por microorganismos específicos
Inóculos de queserías	Para la producción continua de tres sepas de <i>Lactococcus</i>

Fuente: Gómez Soto y Sánchez Toro, 2019

Aprovechamiento de residuos agroindustriales

Existen algunas actividades agroindustriales que generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser obtenidos de nivel primario como la agricultura o de producciones pecuarias o en proceso de transformación con materias primas de origen biológico (Cury, 2017).

Mediante la comparación de diferentes documentos y el criterio de sus autores, se determinaron, a través de una tabla descriptiva, las principales alternativas para aprovechar subproductos provenientes de la industria agroalimentaria, según su valorización químico-biológica, bioenergética y de tratamiento ambiental, además de la hidrólisis fermentación, síntesis, separación de producto, gasificación, pirólisis entre otros. Estos se describen en la tabla 4.

Tabla 4. Alternativas para aprovechar residuos agroindustriales

Prove-niencia	Uso / Alterna-tiva	Descripción	Fuente
Estiércol de pro-ducciones pecuarias	Biogás	Generalmente gas metano obtenido por biodigestión anaerobia y utilizado para en sistemas de cogeneración de energía, producción de vapor y agua caliente.	Alexander Eaton et al., 2014 ; Claudio et al., 2021
Residuos de la industria de aceites, grasas, azucarera	Biodiésel	Un biocombustible producido generalmente por transesterificación, se obtiene 85 % de biodiésel usado como combustible ecológico.	Villabona Ortíz et al., 2017; Montoya-Pérez y Durán-Herrera, 2017
Hojas, fibras y pencas del agave	Resinas termo-plásticas	Material obtenido por el procesamiento de los compuestos ligno-celulósicos del agave para diversos usos industriales.	Mejías et al., 2016; Calero Zurita et al., 2021
Bagazo de caña, residuos de cebada y yuca	Enzimas industria-les	Enzimas obtenidas a partir de la inoculación del hongo <i>Penicillium janczewskii</i> en el sustrato orgánico, para fabricar balanceados.	Terrasan et al., 2010; Aguilar, 2020 en la provincia de Chimborazo. Se utilizó la técnica de Fermentación en Estado Sólido (FES)
Residuos de la industria azucarera y de cereales	Bioetanol	Biocombustible obtenido por fermentación de azúcares residuales de la caña de azúcar y cebada junto a compuestos celulósicos.	Cando et al., 2018; Jiménez y Castillo, 2021
Cascarilla de arroz y ceniza	Bloques de concreto no estructural	Bloques ecológicos elaborados a partir de cascarilla de arroz y ceniza más componentes químicos, como alternativa de material para construcción.	Molina et al., 2015, Zuluaga et al., 2019
Bagazo de maguey y caña de azúcar	Compos-taje	Proceso de degradación de materia orgánica (lignocelulósicas, celulósicos) a través de la acción microbiana (<i>Aspergillus niger</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Trichoderma h</i> , <i>Trametes v.</i>) en condiciones anaerobias para obtener un producto estable rico en nutrientes y apto para uso en suelo agrícola como fertilizante o sustrato para cultivos hidropónico.	Méndez-Matías et al., 2018
Resi-duos de producción bananera, bagazo de caña y desechos del frejol	Hongos comesti-bles	Mediante la fermentación en estado sólido de estos subproductos agroindustriales ricos en celulosa, CHON y otros nutrientes se puede inocular una variedad amplia de cepas fúngicas comestibles, entre las cuales se destaca el <i>Pleurotus ostreatus</i> . Por sus propiedades nutricionales excepcionales (61 % de sacáridos, 26 % proteína, 12 % fibra, vitaminas y minerales), se postula como una gran alternativa para producir alimentos funcionales para el consumo humano.	Leonor et al., 2013; Pineda-Insuasti et al., 2015
Saccharina y Leucaena.	Comida para animales	A través de la FES se diseñan nuevas alternativas para la alimentación animal como suplemento el alimenticio elaborado a partir de <i>Leucaena</i> y <i>Saccharina</i> gracias a su alta digestibilidad para bovinos a fin de ayudar a su crecimiento, reportándose unos 800 gr / día en ganancia de peso en el animal.	Borrás-Sandoval y Torres-Vidales, 2016 .

Entre la multitud de tecnologías existentes para aprovechar residuos agroalimentarios, se determinó, a partir de las fuentes consultadas, que a escala industrial presentan un mayor uso la pirólisis, la gasificación y la combustión, debido al enorme potencial energético que desarrollan estas tecnologías a través del procesamiento de la biomasa. En la tabla 5 se detallan estas tecnologías.

Tabla 5. Tecnologías utilizadas en el aprovechamiento de la biomasa agroindustrial

Tecnología	Descripción	Fuente
Pirólisis	Debido a su eficiencia para obtener líquidos, su uso ha presentado un auge. Tiene como características altas tasas de calentamiento, con un control de temperatura cercano a los 500 °C, y un enfriamiento rápido del vapor en la fase de condensación para obtener bio-oil compuesto por una mezcla compleja de agua, cetonas y azúcares. El uso de la pirólisis en residuos de palma africana (palmiste, fibra, cuesco) permiten obtener bio-oil así como los residuos de manzana para producir biocombustibles.	Arteaga et al., 2012; Baray, 2016
Gasificación	Es un proceso de conversión de varias materias primas con base carbonada, en bio-oil, gas y biocarbón. Sus productos se ocupan esencialmente para generar energía térmica. La tusa de maíz se estudió como biomasa para el proceso de gasificación y dio como resultado un reactor de corriente descendente a un gas (H ₂ ; CH ₄ ; CO) con poder calorífico muy alta aproximado a 5,7 MJ/Nm ³ , con potencial de uso en la generación eléctrica y su aplicación en la fabricación de motores de combustión interna.	Gómez et al., 2019; Lesmes - Jaén et al., 2016 .
Combustión	Los residuos generados de las operaciones agroindustriales proveen materia prima con alto contenido lignocelulósico y celulósico (50 % C, 5,5% H, 1 % N, 40 % O) que, al darle el pretratamiento adecuado, se pueden transformar en combustibles al aprovechar su poder calorífico en las calderas de centrales azucareras, hornos de secado para madera, centrales térmicas y de cogeneración energética y tantas otras aplicaciones dentro del campo de energías renovables.	Muñoz Muñoz et al., 2014

Los procesos termoquímicos de conversión de biomasa de la energía (combustión, gasificación o pirólisis) implican reacciones químicas y reversibles, altas temperaturas y condiciones de operación variable CO₂. Esto conlleva a que los procesos termoquímicos sean más eficientes dadas las altas velocidades de reacción. Para ello, es necesario una biomasa con bajo contenido de humedad y alto contenido de materia volátil, alto poder calórico y un valor alto de relación de combustibilidad que indica alta reactividad (tabla 5).

Al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con datos reportados en la literatura, se observa que cada subsector de la agroindustria genera residuos específicos. En su mayoría, estos presentan características óptimas para ser aprovechados en otra cadena de producción o como alternativa de tratamiento o recuperación de algún medio. Los residuos agroindustriales más utilizados para estos fines, según recientes investigaciones, son los provenientes de las frutas (Castaño et al., 2019). En la industria láctea el lactosuero se empleaba en muchos productos alimenticios, como bebidas, cremas para untar, mantequilla, concentrado proteínico, lactosa, proteínas en polvo, suero en polvo desmineralizado y quesos como el requesón, alimentación animal, entre otros (García et al., 2019).

Dentro de las tecnologías y métodos para recuperar residuos agroindustriales, las más eficientes son la obtención de biogás por biodigestión anaerobia (Alexander Eaton et al., 2014); (Claudio et al., 2021) en residuos pecuarios; generación de biocombustibles (biodiésel, biogás), y procesos fermentativos como la biocatálisis, que permite

aprovechar el subproducto agroalimentario para obtener moléculas biodegradables mediante una serie de transformaciones bioquímicas realizadas por enzimas, hongos, levaduras con funciones específicas (Grande Tovar, 2016).

El manejo inadecuado de residuos agroalimentarios es un problema real y evidente para el ambiente y la sociedad, pues una gestión ineficiente de estos subproductos produce un impacto ambiental grave, así como deficiente clasificación de residuos, altos niveles de compuestos orgánicos contaminantes en fuentes hídricas; emisiones de CO₂, amoníaco y metano provenientes de la quema indiscriminada de residuos, y también el desaprovechamiento de estas materias primas como se evidencia del desperdicio enorme de su potencial sustentable. Como alternativas, las mencionadas por Arteaga et al. (2012) y Baray (2016), en el uso de la pirolisis en residuos de palma africana (palmiste, fibra, cuesco), permiten obtener bio-oil así como los residuos de manzana para producir biocombustibles. Gómez y Lesmes coinciden en el proceso de gasificación, donde los productos se ocupan esencialmente para generar energía térmica. Muñoz (2014) recomienda el proceso de combustión en materias primas con alto contenido lignocelulósico y celulósico (50 % C, 5,5 % H, 1 % N, 40 % O) que, al darle el pretratamiento adecuado, se pueden transformar en combustibles al aprovechar su poder calorífico.

CONCLUSIONES

Las empresas agroindustriales generan residuos cuyo manejo y disposición final han sido debatidos, con el fin de dar un adecuado tratamiento mediante tres tecnologías para aprovechar la biomasa agroindustrial: la pirolisis, gasificación y combustión.

Entre los residuos de la agroindustria se puede mencionar que en el procesamiento de frutas existen residuos como las hojas, semillas (guanábana, lulo, la luffa cilíndrica, residuos de mora y tomate de árbol), cáscaras, vástago. En el procesamiento de aceites están la soya, palma, maní, entre otros utilizados ampliamente en la elaboración de cosméticos.

Los subproductos agroalimentarios como el lactosuero, cascarilla de arroz, bagazo, entre otros, pueden ser transformados en nuevos productos para generar réditos económicos, pero principalmente para evitar generar impacto ambiental. La biomasa como subproducto de procesos agroalimentarios está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina; pero cabe mencionar la presencia de pectina, polisacáridos, aceites esenciales y otras moléculas con propiedades aprovechables para producir nuevos productos.

El manejo eficiente de estas materias primas permite reducir de manera significativa el impacto ambiental; aporta al desarrollo económico de la sociedad por medio de la construcción de plantas especializadas en el tratamiento de estos desechos sólidos (biorrefinerías, industrias para elaborar bioplásticos, biocombustibles, alimento para animales), y promueve la investigación científica, es decir su aprovechamiento desarrolla la economía circular.

Agradecimientos: Agradecemos a la Universidad Estatal Amazónica (UEA) por apoyar esta publicación de acceso abierto.

Contribución de los autores: Investigación, S. Aguiar y M. Enriquez; Redacción, H. Uvidía; Supervisión, los autores han leído y aceptado la versión publicada del documento.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos sin procesar están disponibles con los autores. S. Aguiar y M. Enriquez.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Aguiar, J. (2020). *Aprovechamiento de residuos de Chocho como sustituto para la obtención de hongos comestibles Pleurotus ostreatus*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias
- Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14267/1/236T0493.pdf>
- Alexander Eaton, M., Smith, R., Pino Donoso, M, y Rentería, S. (2014). *Manual para la implementación de proyectos de captura de metano emitido por la agricultura y ganadería en México*. [https://www.biopasos.com/biblioteca/Manual captura metano agricultura ganaderia.pdf](https://www.biopasos.com/biblioteca/Manual%20captura%20metano%20agricultura%20ganaderia.pdf)
- Cedeño-Palacios, A, Alcívar-Cedeño, E, Zambrano-Zambrano, A (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa. *Polo del Conocimiento*, 6(4), 415–437. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2572>
- Arteaga, J., Arenas, E., López, D., Sánchez, C., y Zapata, Z. (2012). De la pirolisis rápida de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis jacq*). *Biocombustibles en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 144–151. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a17.pdf>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia ANDI. (2017). Hacia la transformación de la cadena de valor agroindustrial. En B. Master Mac y I. Restrepo de Mitchell (Eds.), *Agroindustria* (pp. 148–185). Tinta Medios. <http://proyectos.andi.com.co/Libro2/Paginas/assets/docs/estrategia-para-una-nueva-industrializacion-ii.pdf>
- Baray, M. del R. (2016). *Pirolisis a baja temperatura en materiales avanzados de la pomasa de manzana para la producción de biocombustibles*. [Centro de Investigación en Materiales Avanzados]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/363>
- Borrás-Sandoval, L. M., y Torres-Vidales, G. (2016). Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido – FES. *Orinoquia*, 20:2, 8. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v20n2/v20n2a07.pdf>
- Buri, S., y Salazar, K. (2020). *Técnicas de aprovechamiento ambiental establecidas a través del estudio de caracterización de los residuos agroindustriales de la parroquia San Andrés*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14492/1/236T0509.pdf>
- Cando Pacheco, S., Fernández Argüelles, R., y Cando Garcés, K. (2019). Los biocombustibles: análisis de los cultivos energéticos y la biomasa lignocelulosa. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 3(03), 7. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/96>
- Cabrera-Núñez, A., Lammoglia-Villagómez, M., Martínez-Sánchez, C., Rojas-Ronquillo, R., y Montero-Solis, F. (2020). Utilización de subproductos de naranja (*Citrus sinensis var. valencia*) en la alimentación para rumiantes. *Abanico Veterinario*, 10(1), 1–11. <http://www.scielo.org.mx/pdf/av/v10/2448-6132-av-10-e6.pdf>
- Calero Zurita, M., De Santis Arauz, D., Rivas Sierra, D., y Bernal Gutiérrez, A. (2021). Estado del arte de bioplástico proveniente de los residuos agroindustriales del plátano (*Musa paradisiaca*), para

- la producción de envases biodegradables. *Revista Ingeniería e Innovación*, 9(1), 10. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rri/article/view/2416>
- Cámara de Industrias de Guayaquil. (2020, febrero). *La importancia de la industria de alimentos y bebidas en el desarrollo de proveedores*. 1–56. https://issuu.com/industrias/docs/revista_febrero_2020
- Castro, H., Contreras, E., y Rodríguez, J. P. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*, 41(38), 42–50. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p05.pdf>
- Cazares, A., Real, N., Delgado, M., Bautista, L., y Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8), 10–17. <file:///D:/USUARIO/Downloads/249320580.pdf>
- Chávez Porras, Á., y Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 1–18. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Claudio, R., Aguilar, G., Roberto, M., y Hermenegildo, E. (2021, diciembre). Biocombustibles mediante residuos agroindustriales: por un mejor cuidado del medio ambiente del planeta. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 5, 1–26. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1410 p 14443
- Cornejo, J., y García, M. (2019). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales (R.A) enfocados en el mejoramiento de la calidad del medio ambiente: una revisión de la literatura científica* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23808>
- Coronado, R. G., y Valencia, R. L. (2015). *Gestión integral de residuos agrícolas para la generación de materias primas en el municipio de Cota Cundinamarca*. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3001>
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martínez M, A., Olivero V, R., y Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>
- Echeverry, L., y Muñoz, P. (2012). *Evaluación económica de alternativas de aprovechamiento biológico y químico de residuos agroindustriales en una empresa del sector de alimentos* [Universidad ICESI]. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/73086/1/evaluacion_economica_alternativa.pdf
- Fal, J., y Allami, C. (2017). Agroindustrias, biotecnología y desarrollo: reflexiones acerca del discurso y praxis del Banco Mundial en Argentina (1997-2010). *Ensayos de Economía*, 27(50), 127–149. <https://doi.org/10.15446/ede.v27n50.66525>
- Figueroa, C., y Quipuzco, L. (2019). Eficiencia de la desulfuración del biogás mediante biofiltración empleando soportes orgánicos. *Agroindustrial Science*, 9(1), 29–37. <file:///D:/USUARIO/Downloads/Dialnet-EficienciaDeLaDesulfuracionDelBiogasMedianteBiofil-7023246.pdf>
- Filian, W., Salinas, J., Arias, R., y Gómez, J. (2020). Evaluación físico-química de residuos agroindustriales para la alimentación animal. *Journal of Science and Research*, 5(1), 182–199. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7712461>
- Gómez, R. D., Camargo, D. A., Soto, C. C., y Bula, A. J. (2019). Synergistic evaluation of residual biomass gasification in mixtures of corn and cotton. *Información Tecnológica*, 30(6), 11–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600011>
- Gómez Soto, J. A., y Sánchez Toro, Ó. J. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 129–158. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.637>
- González, J. G., Flies, C. N., Navarrete, A. M., López, J. G., y Troncoso, C. T. (2019). Bioherbicide from phenolic extract obtained from almazara waste. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 497–503. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.06>
- Gordillo, F. A. (2018). *Producción de compost a partir de desechos y su uso potencial en el mejoramiento del suelo* [Universidad de Almería]. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=5h8AXT00IAs%20%3D>
- Grande Tovar, C. D. (2016). Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. En *Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales*. <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4588/1/9789588785813.pdf>
- Hurtado Benavides, A. (2013). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales de frutas para la obtención de aceites con potencialidad en la industria cosmética, utilizando la tecnología de extracción con fluidos supercríticos*. <https://contratacion.udenar.edu.co/wp-content/uploads/2014/01/PROYECTO-COMPLETO-APROVECHA-RESIDUOS-.pdf>
- Jiménez, M., y Castillo, A. (2021). Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 265–282. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n2/2077-9917-agro-12-02-265.pdf>
- Leonor, R., Omen, R., Martínez, C. A., y Velasco, S. M. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Luna Azul*, 2(37), 89–100. <https://doi.org/10.17151/luaz.2013.37.7>
- Lesme - Jaén, R., García- Faure, L., Oliva-Ruiz, L., Pajarín-Rodríguez, J., y Revilla- Suárez, D. (2016). Gasificación de biomasa para la generación de electricidad con motores de combustión interna. Eficiencia del proceso. *Tecnología Química*, 36(2), 161–172. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2016.2>
- Matos Trujillo, M., Pérez Hernández, Y., Valdivia Ávila, A., Ranilla, M. J., Rodríguez Alonso, Z., Rubio Fontanills, Y., Díaz Reyes, A., Jardines González, S., y Camacho Campos, C. (2020). Use of agroindustrial residues for producing enzymes by *Bacillus subtilis* E 44. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(1), 35–44. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v54n1/2079-3480-cjas-54-01-35.pdf>
- Mejias, N., Orozco, E., y Galán, H. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27–41.
- Melo Sabogal, D. V., Torres Grisales, Y., Serna Jiménez, J. A., y Torres Valenzuela, L. S. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp) para la obtención de maltodextrina. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 1–10. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)76-85](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)76-85)
- Méndez-Matías, A., Robles, C., Ruiz-Vega, J., y Castañeda-Hidalgo, E. (2018). Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 271–280. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1070>
- Merchán, D., Maldonado, E., Palacios, I., y Herrera, D. (2017). Análisis del desarrollo de la agroindustria en el Ecuador. *Revista de Estrategias del Desarrollo Empresarial Diciembre*, 3(10), 19–24. http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial/vol3num10/Revista_de_Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial_V3_N10_3.pdf

- Molina, N. F., Fragozo Tarifa, O. I., y Vizcaino 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>
- Montoya-Pérez, L., y 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>
- Morales Castaño, D. F., Cano Quintero, J. B., y Londoño Ospina, N. de J. (2019). Red inalámbrica de biosensores enzimáticos para la detección de contaminantes en aguas. *Revista Politécnica*, 15(29), 9–22. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a1>
- Muñoz Muñoz, D., Matta Pantoja, A. J., y Cuatin Guarín, M. F. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorrefinería. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 10–19. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a02.pdf>
- Pagés Díaz, J., Cabrera Contreras, L., Cabrera Díaz, A., y Pereda Reyes, I. (2019). Biodegradabilidad de residuos de la industria agro-azucarera cubana: co-digestión anaerobia. *Centro Azúcar*, 46, 79–89. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n3/2223-4861-caz-46-03-79.pdf>
- Pineda-Insuasti, J. A., Ramos-Sánchez, L. B., Soto-Arroyave, C. P., Freitas-Fragata, A., y Pereira-Cruz, L. (2015). Crecimiento de *Pleurotus ostreatus* en residuos agroindustriales no suplementados TT. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 38 (Octubre 2015), 41–49. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2377.0323>
- Polich, N. L. (2019). *Glicerol, residuo de la producción de biodiesel: posibles alternativas como materia prima para productos de mayor glicerol, residuo de la producción de biodiesel: posibles alternativas* [Universidad Nacional Del Litoral]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1207/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quevedo, T. (2013). Agroindustria y concentración. *En Agroindustria y concentración de la propiedad de la tierra*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54959.pdf>
- Riera, M., Maldonado, S., y Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Ingeniería Industrial*, 17(3), 227–246. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7170984>
- Rodríguez, E. C., Fernández, V. L., Montano, A., y Dopico, D. (2016). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro Azúcar*, 43(4), 1–9. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n4/caz03416.pdf>
- Rojas, A. F., Flórez, C., y López, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 1–21. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v31n1/2224-5421-ind-31-01-31.pdf>
- Rosas-Calleja, D., Ortiz-Laurel, H., Leyva-Ovalle, y Herrera-Corredor, J. (2016). Revaluation of some agroindustrial residues and their todo proceso. *Agroproductividad*, 9, 18–23. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/796/661>
- Rosero, E. (2017). Impacto de la producción de biomasa de *Auricularia auricula*, utilizando residuos agroindustriales contaminantes del Ecuador (Número March). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23142.63041>
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2), 42. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf
- Serrat Díaz, M., Ussemame Mussagy, C., Camacho Pozo, M. I., Méndez Hernández, A. A., y Bermúdez, R. C. (2016). Valorización de Residuos Agroindustriales Ricos en Pectinas por Fermentación. *Tecnología Química*, 36(1), 1–13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000100001&lng=es&esynrm=isoyt&lng=es
- Terrasan, C. R. F., Temer, B., Duarte, M. C. T., y Carmona, E. C. (2010). Production of xylanolytic enzymes by *Penicillium janczewskii*. *Bioresource Technology*, 101(11), 4139–4143. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.011>
- Vargas, Y., y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Victoria, L., González, P., Patricia, S., Gómez, M., Andrea, P., y Abad, G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8 2, 141–150. <file:///D:/USUARIO/Downloads/Dialnet-AprovechamientoDeResiduosAgroindustrialesEnColombi-6285350.pdf>
- Villabona Ortiz, A., Iriarte Pico, R., y Tejada Tovar, C. (2017). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos grasos de procesos de fritura. *Teknos revista científica*, 17(1), 21. <https://doi.org/10.25044/25392190.890>
- Yarián, I., Suárez, R., Barrueta, C. M. A., Mesa, C. Y. M., Aniel, I., y Sánchez, F. (2020). Valoración del potencial energético de los residuos agroindustriales de tomate para su empleo como biocombustible. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2), 37–44. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586263256006/html/>
- Zuluaga, R., Osorio, M., Castro, C., Betancourt, S., Kerguelen, H., Salazar, S., Santana, R., y Marín, D. (2019). Compendio de las alternativas para el desarrollo de materiales que brindan las estructuras celulósicas aisladas de residuos de la agroindustria de. *CYTED - Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 119–130. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/122024/CONICET_Digital_Nro.734b37f4-424f-4639-a2ef-5b4dc1e-d2403_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y