

Técnicas para la biotransformación de residuos agroindustriales y disminución de sus impactos ambientales

Alexa Castro Viteri

alexacaastro@uct.edu.pe

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de Trujillo

Carretera Panamericana Norte Km. 555-Trujillo-Perú.

Resumen

En las actividades agroindustriales, se genera gran cantidad de subproductos que no son transformados generando un gran problema ambiental a nivel global, debido a su incorrecta eliminación. Por cuanto, estos residuos podrían aprovecharse para la elaboración de nuevos productos. Esta investigación es una revisión de trabajos publicados del 2005 al 2020 y comprenden alternativas de valorización biotecnológica de residuos agroindustriales, en las diferentes etapas de producción para enfrentar los problemas de la inadecuada disposición final que realizan las empresas dedicadas a este rubro. Para el presente estudio, se utilizaron las siguientes bases de datos: Google Scholar, EBSCO, biblioteca digital ODU CAL y SCIELO. En el conjunto de artículos revisados, para abordar la problemática, se ha identificado cinco categorías: biotransformación de residuos agroindustriales, generación de biocombustibles, procesos de compostaje, recuperación de medios abióticos contaminados, producción de alimentos para animales y elaboración de diversos productos de interés. De los resultados encontrados evidenciamos la potencialidad de los residuos agroindustriales para su aprovechamiento.

Palabras clave: Residuos agroindustriales, desechos agroindustriales, compostaje, biocombustibles, valorización

Abstract

In agro-industrial activities, a large quantity of by-products is generated that are not transformed, generating a great environmental problem at a global level, due to their incorrect elimination. As, these residues could be used for the elaboration of new products. This research is a review of works published from 2005 to 2020 and includes alternatives for the biotechnological valorization of agroindustrial waste, in the different stages of production to face the problems of inadequate final disposal carried out by companies dedicated to this area. For the present study, the following databases were used: Google Scholar, EBSCO, ODU CAL digital library and SCIELO. In the set of articles reviewed, to address the problem, five categories have been identified: biotransformation of agro-industrial waste, generation of biofuels, composting processes, recovery of contaminated abiotic environments, production of animal feed and production of various products of interest. From the results found, we show the potential of agro-industrial waste for its use.

keywords: Agro-industrial waste, agro-industrial waste, lignocellulosic waste, biofuels, recovery

1. Introducción

En el marco del proceso de globalización de la economía, la apertura de nuevos mercados, el crecimiento demográfico y de la sociedad del consumo, implica un alto desarrollo de industrias productivas para la generación de diferentes productos con el fin, de satisfacer las necesidades de la humanidad, ocasionando un importante crecimiento en su producción por la alta demanda de productos alimenticios; en ese sentido, es crucial mejorar el acceso a los mercados mundiales, reducir o eliminar las practicas perjudiciales y generar oportunidades de empleo (de León Lázaro 2018) Susana Saval (2012), definió el término agroindustria como una “actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para obtener alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado”. En ese mismo sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 1997) manifiesta que “es el conjunto de actividades económicas que benefician el cambio de los productos procedentes de la agricultura, la pesca, lo forestal y la ganadería, es decir, la confección de materias primas y productos intermedios procedentes del sector agrícola”. En industrias como la agrícola (cosecha de cultivos), aceite de palma, caña de azúcar; es notable la generación de residuos, comenzando por la cosecha pasando por los centros de concentración y distribución, finalizando en la industrialización, comercialización y consumo, provocando problemas frecuentes como la inadecuada gestión de la disposición de residuos, hecho que contribuye a la contaminación ambiental y la alteración de los diferentes ecosistemas. El objetivo de la revisión bibliográfica, es proporcionar alternativas para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales orientadas hacia la transformación sustentable en beneficio de la sociedad, calidad del medio ambiente, prevención de la contaminación, recuperación de los ecosistemas, generación de abonos naturales como el compost, bioenergéticas, biocombustibles, producción de otros productos de interés con un valor agregado para la disminución del uso de los recursos naturales renovables y no renovables.

2. Metodo

2.1 Alcance de revisión

Para el desarrollo de la presente investigación, se indagaron en internet, en torno a, técnicas para la biotransformación de residuos agroindustriales y el modo de disminuir el impacto ambiental que ocasiona. En ese sentido, se organizó, sistematizó y analizó documentos encontrados en revistas de divulgación e investigación científica, tesis, artículos. La búsqueda se efectuó en fuentes documentales como Google Scholar y EBSCO, biblioteca digital ODUICAL, SCIELO. Como criterios de búsqueda, se incluyeron los siguientes descriptores: “residuos agroindustriales”, “biotransformación”, “lignocelulósicos”, “valorización”, “agroindustria”, “bioenergéticas” y “compost”; además, se incluyeron publicaciones acerca del uso de residuos de origen agroindustrial en la prevención e intervención de posibles impactos negativos. De acuerdo al criterio de inclusión y exclusión se seleccionaron artículos que cumplieron las categorías de “biotransformación” y “aprovechamiento”.

2.2 Terminología y anotaciones

Agroindustria La FAO en su informe “Agroindustrias para el desarrollo” la define, como el subconjunto del sector manufacturero que procesa diversas materias primas y productos intermedios agrícolas, forestales y pesqueros. De este modo, este sector incluye elaboración de alimentos, bebidas y tabaco, textiles y prendas de vestir, muebles y productos de madera, papel e impresión, además de caucho y sus productos. (FAO 1997, 12) (Da Silva, y otros 2013)

Residuos agroindustriales En el proceso de producción agroindustrial, además de la obtención de productos deseados, también ocurre generación de subproductos o residuos, que son aquellos materiales en estado sólido o líquido que se generan por el consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social. (Saval Bohórquez 2012, 15-16) El incremento poblacional requiere una alta demanda de productos para cubrir la necesidad de bienes de consumo; ocasionando que las empresas aumenten su tasa de producción y generación de residuos en cantidades significativas, provocando problemas ambientales debido a una incorrecta gestión final de sus residuos; como consecuencia de los altos costos y la falta de conocimiento de nuevos recursos tecnológicos para su tratamiento, además de la legislación deficiente y disposición de residuos en la mayoría de los casos, en los mal llamados “rellenos sanitarios” o para su incineración. (Restrepo Duque , Rodriguez Sandoval y Manjares Pinzon 2011) Sin duda, el descubrimiento de tecnologías para beneficiarse de los residuos agroindustriales, es apremiante, utilizar estos productos, no solamente a favor de las personas, sino en la conservación y protección del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos renovables y no renovables y en el manejo integrado para su reutilización. Teniendo como ventaja la alta disponibilidad de los residuos, la variedad que tienen y el tipo de proceso y materia prima con el que se generaron (orgánicos en su mayoría). Por consiguiente, la búsqueda de conocimiento se enfocará en técnicas que utilicen los residuos, con el propósito de transformarlos en productos bioenergéticos o biocombustibles, compostaje y otros de interés económico o comercial. (Vargas Corredor y Pérez Pérez 2018)

Valorización biotecnológica La búsqueda de entidades para hacer uso de los residuos agroindustriales, nos conduce a la biotecnología (bioconversión), que dispone de procesos de extracción directa, transformación microbiana o química, transformándolos en productos comerciales de mayor valor añadido como pigmentos, antibióticos, enzimas, etc.; mejorando el impacto en el ambiente, mediante la aplicación de tecnologías, que utilizan la biotransformación de los subproductos agroindustriales; como lo explica Mejías et al., uno de los retos de esta área de la ciencia, es la adquisición de materias primas de fácil acceso y bajo costo que sirvan como sustratos fermentables; es decir, ricos en carbono y nitrógeno. (Mejías Brizuela, Orozco Guillen y Galáan Hernández 2016, 33) En ese sentido, se ha categorizado en cinco aspectos la transformación de los residuos agroindustriales, siendo la generación de biocombustibles, compostaje, utilización en recuperación de medios bióticos alterados, productos de interés económico o social y aprovechamiento en la producción de alimentos para animales. Botella, menciona algunos residuos utilizados, según, categorías de aprovechamiento, como es el caso de los desechos de la uva pomace que son utilizados como

una fuente nutritiva y exclusiva para la fermentación y producción de enzimas hidrolíticas (celulasas y pectinasas), teniendo potencial de aplicación en la industria textil, química y de alimentos usando cepas de *Aspergillus awamori*, teniendo como beneficio su bajo costo; la producción de la enzima hidrolítica por *Aspergillus awamori* en la uva.. (Botella, y otros 2005) También, se menciona otros residuos como el bagazo de caña, avena, salvado de trigo, residuos de cebada y cascaras de yuca como sustrato combinado con una cepa de *Penicillium janczewskii* se obtuvieron enzimas para ser utilizadas para la fabricación de pastas, harina de trigo como aditivo en alimentos de aves de corral y procesos de blanqueo en la industria química. (Mejías et al., 2016) El cuadro 1, muestra las principales categorías de aprovechamiento de los residuos agroindustriales para su reutilización en bioenergéticos (bioetanol, biodiesel, biogás, biomasa energética), el proceso de compostaje y su uso en la recuperación de medios abióticos contaminados (remoción de colorantes, metales pesados e hidrocarburos), la elaboración de otros productos de interés (ladrillos, composites, estibas, entre otros). (Vargas Corredor y Pérez Pérez 2018)

CATEGORÍA	PRODUCTO	RESIDUO	TÉCNICA PROCEDIMIENTO	REFERENCIA
Bioenergéticas Biocombustibles	Biogás	Residuos lignocelulósicos y estiércol	Digestión anaerobia	(Montenegro Orozco, y otros 2016)
	Bioetanol	Cáscara de banana maduro	Residuos lignocelulósicos Hidrólisis enzimática, fermentación	(Romero Bonilla, y otros 2019)
	Biobutanol	Paja de arroz	Hidrólisis enzimática, fermentación utilizando el hongo <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(Bailón Guevara y Jiménez Merchán 2021)
	Biodiesel	Residuos o biomasa lignocelulósicos	Producción enzimática	(Alcalá-Galiano Morell, y otros 2018)
Proceso de compostaje y su uso en la recuperación de medios abióticos contaminados	Compostaje	Destilerías (mostos residuales, vinaza) Azucarrera (bagazo, cachaza y ceniza) Residuos de material verde (cáscaras, hojas, tallos, bagazo de frutas)	Biodegradación aerobia y el uso de una mezcla polienzimática	(Hernández Cázares, y otros 2016) (Rosas Calleja, y otros 2016)

	Remoción de hidrocarburos en el suelo Adsorbente para la remoción de fármacos en aguas contaminadas	Residuos de frutas, viruta Bagazo de caña de azúcar y el zuro de maíz.	Técnica del composteo Presencia de grupos activos, cantidades de lignina, celulosa y hemicelulosa y punto de carga cero.	(Roldan, y otros s.f.) (Peñafiel Tenorio y Ormad Melero 2021)
Otros productos de interés	Bioplásticos Producción de Trichoderma spp.	Residuos de: Caña de azúcar para azúcar (tallo fresco) Banano (fruta fresca) Palma aceitera (fruta fresca) Maíz duro seco (grano fresco) - biomasa Arroz (en cáscara) Papa (tubérculo fresco) Cascarilla de arroz (Oriza sativa) Residuos de papa (Solanum tuberosum)	Utilización como celulosa Selección de la cepa del hongo Trichoderma spp Cámara de Neubauer	(Antonieta Riera y Maldonado 2018) (Navas Miño y Ramírez Bayas 2012)

Tabla 1: Categorías de biotransformación de los residuos agroindustriales en bioenergéticas, compostaje y productos de interés económicos y sociales

3. Desarrollo y discusión

3.1 Biotransformación de residuos agroindustriales en bioenergéticas:

Biocombustible A partir del análisis de las fuentes de revisión se ha identificado que una de las formas de transformación de los residuos agroindustriales está enfocado en la producción de biocombustibles como: biogás, bioetanol, biodiesel, biobutanol, entre otros. La obtención de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos originados de los cultivos de caña de azúcar, naranja, limón, piña, toronja, plátano, café cereza, sandía, arroz palay y pera; presentan un elevado potencial para su aprovechamiento como biocombustible, obtención de energía, biomateriales y productos químicos (Muñoz Muñoz , Pantoja Matta y Cuatin Guarín 2014). Asimismo, en una investigación publicada en la revista *Renewable energy biomass & sustainability*, se señala, que los residuos de la caña de azúcar (vinazas) tiene un mayor potencial bioenergético teórico, por ejemplo, en México; obtuvieron bioma-

sa a partir de bagazo de caña 115.00 PJ por año, a comparación de los residuos cítricos (naranja, limón y toronja) que aportaron 16.32 PJ; siendo la fracción sólida la que tiene mayor aporte energético; deduciendo que a partir de diferentes técnicas para el tratamiento de los residuos, se potencializarían como biocombustible (Nava Pacheco, y otros 2019).

3.2 Biogás

A partir de la biomasa residual (hojas, ramas, tallos) producida por sistemas de producción agrícola y pecuaria, con cultivos transitorios (maíz, papa, frijol, arveja y mora) y permanentes (caña de panelera, banano, café y cacao), se alcanzó un aporte promedio de 76 % de biomasa residual pecuaria total frente al resto de residuos orgánicos, combinados con estiércol proveniente de aves, bovinos y porcinos teniendo como resultado un potencial biológico de metano. De acuerdo a los resultados se concluyó que los residuos transitorios y pecuarios tienen un alto potencial en su sustrato de metano como pulpa y mucílago, mediante la utilización de la técnica de proceso de co-digestión anaerobia y la aplicación de reactores de cúpula fija y móvil, debido a su rentable construcción y utilización. (Montenegro Orozco, y otros 2016)

3.3 Bioetanol

Se analizó la reutilización de residuos agroindustriales a partir de la biomasa lignocelulósica para la generación de bioetanol de las cosechas de caña de azúcar, cáscara de arroz, plátano, maíz amarillo duro, palma aceitera y espárrago. Anterior a la obtención de bioetanol se realizó un pre-tratamiento para el cálculo de la cantidad de hemicelulosa obtenida de la biomasa, mediante procesos de hidrólisis; (recuperación de xilosa) y fermentación (etanol obtenido a partir de la xilosa fermentada). Además, mediante el cálculo de conversión teórica celulosa, hemicelulosa de cada biomasa fue posible “obtener el potencial de generación de bioetanol: 3.5 millones de toneladas de bioetanol lignocelulósico por año, cuya energía total contenida es de 2.2 Mtep/año y un potencial de generación de electricidad de 8.9 GWh/año” (Retto Hernández 2019).

3.4 Biobutanol y biodiesel

Se procedió a separar los residuos agroindustriales provenientes de la paja de arroz, para su fermentación ABE, siguiendo con las etapas de pretratamiento, hidrólisis ácida, hidrólisis enzimática, fermentación utilizando el hongo *Saccharomyces cerevisiae* y la purificación del bio-butanol. Por otro parte, para la obtención de biodiesel en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Camagüey se utilizó catalizadores enzimáticos (lipasa) con la biomasa azucarada y amilácea como alternativa para llevar a cabo el proceso de catálisis biológica, así el biocatalizador tiene como función inmovilizar un soporte sólido para la transesterificación de grasas de etanol, avanzando por la vía celulolítica sintetiza biodiesel y aceite unicelular. (Bailón Guevara y Jiménez Merchán 2021)

4. Biotransformación de residuos agroindustriales para proceso de compostaje y su uso en la recuperación de medios abióticos contaminados

Mediante, producción cafetera, azucarera y tortillera se generan grandes cantidades de subproductos o residuos, las cuales tienen un gran potencial de aprovechamientos como abonos orgánico (compost), mejoradores de calidad del suelo o agua y como productos de remoción de contaminantes en medios abióticos. Para una exitosa reutilización de residuos agroindustriales, es requisito indispensable aplicar los siguientes pasos: identificación, cuantificación, caracterización, desarrollo, análisis y optimización de residuos. (Rosentrater 2006) Los subproductos, que tienen como origen el proceso del café soluble y descafeinado, los residuos como cachaza y bagazo, poseen gran potencial en el mejoramiento y mantenimiento de la fertilidad y productividad del suelo. La aplicación de la materia orgánica como abono ha presentado casos exitosos teniendo como subproducto: El bagazo de caña proveniente de los molinos y la cachaza, son materiales que han demostrado su utilidad para obtener compostas; son excelente fuente de materia orgánica para el suelo. La cachaza en particular por su propia naturaleza contiene elevado porcentaje de materia orgánica, que alcanza 40 %, en tanto que el contenido de nitrógeno y fósforo es del orden de 1.7 % y 3 %. Los subproductos en la cadena de producción del café, ya sea en grano o soluble, poseen características para ser reutilizados y revalorizados a través de procesos de compostaje o vermicompostaje; también, la pulpa de café ha generado experiencias satisfactorias para elaborar desde compostas hasta suplementos alimenticios para peces, cerdos y ganado bovino de engorde, la borra de café es un material susceptible de ser manejado a través de compostaje para poder emplearlo como abono orgánico de los suelos. (Rosas Calleja, y otros 2016) Por otra parte, los residuos agroindustriales son una alternativa para el tratamiento de remoción de contaminantes en el medio ambiente, mediante

- Remoción eficiente del colorante azul de metileno con cascarilla de arroz (máximo 99 %, a pH 9) y de colorante rojo básico (91 % a pH 8), determinando que este subproducto tiene gran capacidad de separación de efluentes residuales y eliminación del cromo, porque la cascarilla de arroz al ser transformada en ceniza o carbón activado en combinación con agentes activantes como el ácido fosfórico y el hidróxido de carbono de sodio, presenta un potencial de 72.8 % de remoción del cromo. (Vargas Corredor y Pérez Pérez 2018)-
- El bagazo de caña y el rastrojo de maíz también son utilizados para la remoción de colorantes, en algunos casos son modificados de forma química para mejorar su capacidad de absorción. (Vargas Corredor y Pérez Pérez 2018)-
- Para la remoción de metales pesados, cadmio y plomo se utiliza el bagazo de caña y el zuro de maíz (mediante la preparación de carbones activados), en la eliminación del cromo y cobre los residuos utilizados son la cáscara de banano y de mandarina, cascarilla de arroz y residuos del café. (Vargas Corredor y Pérez Pérez 2018)

5. Biotransformación de residuos agroindustriales en otros productos de interés

Para el aprovechamiento de residuos agroindustriales como el zuro de maíz, podas de sarmiento, cascarilla de cebada y madera de *Eucalyptus globulus*, que contienen altos niveles de hemicelulosas, se realizaron una serie de procesos con el fin de convertir los residuos en productos de alto valor añadido, tales como el ácido cítrico, xilitol, ácido láctico y vainillina, que se utilizan en diversos sectores industriales, incluida la industria alimentaria. Durante el procedimiento se solubilizó las hemicelulosas mediante fraccionamiento en medio acuoso, dejando la celulosa en fase sólida, aplicando técnicas de hidrólisis y el aprovechamiento de los licores obtenidos en la etapa de fraccionamiento para la producción de xilitol, ácido láctico o cítrico por vía fermentativa, para lo que ha resultado necesario convertir los licores en medios. (Attilio Converti 2009) Juan Valdés Uribe (2019), proporcionó una técnica para la disminución de las emisiones de CO₂ generada por la industria cementera, la utilización de residuos agroindustriales como cenizas volantes y cascarilla de arroz, escoria de horno, relaves de cobre entre otros, deberían considerarse, como reemplazo parcial de cemento (materiales cementantes suplementarios), para tal efecto, procedió mediante ensayos a medir la capacidad de resistencia en compresión en las diferentes pastas de cemento, realizando la comparación en su desempeño a edades tempranas y tardías, cuantificando la actividad hidráulica y la interacción del evento con materiales cementantes suplementarios, que fue comprobado, mediante las calorimetrías isotérmicas y el método R3. A través de los resultados, se interpreta un buen desempeño por parte de los residuos en los diferentes niveles de reemplazo estudiados, permitiendo que los residuos agroindustriales presentes en el estudio disminuyan el impacto negativo como contaminante del ambiente y contribuyan de una manera ecológica natural en la producción del producto de interés como el cemento. (26-45). Arboleda Murillo 2020, investigó la semilla de aguacate y la piel de uva isabelina *Vitis labrusca*, para la producción de bebidas en polvo, se realizó el registro de la cantidad de cultivo y siembra para la estimación de la generación de residuos, en seguida se procedió a lavar las semillas de aguacate y la piel de uva, después fueron trituradas (reducción de su tamaño), para someterlas a un proceso de deshidratación a 95°C por 30 min. Posteriormente se mezcló, para luego ser molido (mejorar la característica de granulometría proporcionarle una textura de harina y mejorar la extracción de sus componentes en la preparación del té), tamizado (por diferencia de tamaño se separa el material que no cumple con las características y pasa de nuevo a la etapa de molienda) y empacado. (Arboleda Murillo 2020)

6. Conclusiones

Mediante la revisión se ha logrado constatar la potencialidad de los residuos agroindustriales para su aprovechamiento, reduciendo de este modo, los impactos sociales, económicos y ambientales que son consecuencia de la gran cantidad de residuos generados y el elevado costo que ocasiona su disposición final. Se ha identificado cinco categorías: bioenergéticas – biocombustibles, producción de compostaje, recuperación de medios abióticos contaminados, producción de alimentos y la elaboración de otros productos de interés. La transformación de residuos incrementará su valor agregado y proporcionará una fuente de materiales na-

turales. La generación de biocombustibles mediante el empleo de residuos agroindustriales, solucionará una parte del problema de la deficiencia de disposición de residuos y a reducir las emisiones de dióxido de azufre y dióxido de carbono, permitiendo la implementación de estrategias de energías renovables y siendo una La generación de compostaje se relaciona con la recuperación de la calidad de los ambientes contaminados, reemplazando los fertilizantes químicos con abonos naturales, con el propósito de recuperar y conservar las propiedades del suelo. La utilización tecnologías como la remoción de metales pesados beneficia no solo al medio ambiente, también contribuye en el aspecto económico y social, promoviendo la utilización de estrategias basadas en el aprovechamiento de residuos.

Referencias

- Alcalá-Galiano Morell, Diana , Mario Cujilema Quitio, Gualberto León Revelo, Linnet Bar-yolo González, y Luis Ramos Sánchez. Producción enzimática de biodiesel con biomasa lignocelulósica. Santiago de Cuba: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Camagüey, 2018.
- Antonieta Riera, María, y Silvina Maldonado. Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos . Ecuador: Universidad del Bío-Bío Vol. 17 Núm. 3, 2018.
- Arboleda Murillo, Alba Nidia. Producción de bebida funcional en polvo a partir de residuos agroindustriales - semilla de aguacate y piel de uva *Vitis labrusa* . Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD, 2020.
- Attilio Converti. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la generación de aditivos alimentarios, tratamiento de las materias primas y estudios metabólicos. España: Universidade de Vigo. Revista Dialnet, 2009.
- Bailón Guevara, Juan Antonio, y Evelyn Johanna Jiménez Merchán. Simulación del proceso para la obtención de biobutanol a partir de los residuos agroindustriales provenientes de la paja de arroz. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química, 2021.
- Botella, C., I Ory, C. Webb, D. Cantero, y A. Blandino. Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamori* on grape. Artículo, España: Biochemical Engineering Journal. J. 26(2-3), 100-106., 2005.
- Da Silva, Carlos, Doyle Baker, Andrew W. Shepherd, Chakib Jenane , y Sergio Miranda da Cruz. Agroindustrias para el desarrollo. Roma: FAO, 2013.
- de León Lázaro, Gillermo. La globalización y su influencia en la agricultura. Anuario Juridico y Económico Esculiarence , 2018.
- FAO. Agroindustrias para el desarrollo. Roma: FAO, 1997.
- Hernández Cázares, A., N. Real Luna, I Delgado Blancas, y J. Velasco Velasco. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. Veracruz - Mexico: Agroproductividad Vol. 9 Issue 8, p10-17. 8p, 2016.

- Mejías Brizuela, Nildia, Eber Orozco Guillen, y Néstor Galáan Hernández. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. Mazatlán: Programa Académico de Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica de Sinaloa, 2016.
- Montenegro Orozco, Karen Tatiana , Ana Sofía Rojas Carpio, Iván Cabeza Rojas, y Mario Andrés Hernández Pardo. Potencial de biogás de los residuos agroindustriales en el departamento de Cundinamarca. Bogotá: Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás, 2016.
- Muñoz Muñoz , Deyanira, Alvarado Javier Pantoja Matta, y Milton Fernando Cuatin Guarín. Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustibles y refinería. Cauca: Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial. Universidad del Cauca, 2014.
- Nava Pacheco, Diana, Inés Adriana Juárez García, Ofelia Landeta Escamilla, Sandra Del Moral, y Erik Samuel Rosas Mendoza. Potencial bionergético a partir de residuos a partir de residuos agroindustriales del Estado de Veracruz. Veracruz: Renewable Energy Biomass Sustainability, 2019.
- Navas Miño, Gladys Cecilia, y Silvana Gabriela Ramírez Bayas. Aprovechamiento de residuos Agroindustriales, cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) y residuos de papa (*Solanum tuberosum*) para la producción de *Trichoderma* spp. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica, 2012.
- Peñafiel Tenorio, María Eulalia, y María Peña Ormad Melero. Valorización de residuos agroindustriales como adsorbentes para la remoción de fármacos de uso común de aguas. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2021.
- Restrepo Duque , Ana María, Eduardo Rodríguez Sandoval, y Katherine Manjares Pinzon. «Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales.» Producción + limpia (Producción + limpia) 6, n^o 2 (2011): 47-57.
- Retto Hernández, Patricia Isabel. Potencial energético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales lignocelulósicos en el Perú. la Libertad - Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2019.
- Roldan, Teresa, Rojas Noma , Ana Muñoz, Luis Fernanadez, y Diego Zaragoza. Estudio de tratabilidad de un suelo contaminado con lodos de perforación utilizando residuos agroindustriales. Mexico: Instituto Mexicano de petróleo , s.f.
- Romero Bonilla, Hugo , Cinthia Macías Balón , Aracelly Palacios Moreno, y Felipe Redrovan Pesantez. Estudio cinético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de la cáscara de banano maduro. Facultad de Ingeniería Industrial , Industrial data, vol. 22, no 1, p. 187-202, 2019.

- Rosas Calleja, D., H. Ortiz Laurel, J. Herrera Corredpr, y O. Leyva Ovalle. Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. Córdoba: Agroproductividad Vol. 9 Núm. 8, 2016.
- Rosentrater, K. A. A review of corn masa processing residues: Generation properties and potential utilization. *Waste Management* 26, 2006, 284-292.
- Saval Bohórquez, Susana. «Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro.» *BioTecnología* Vol. 16 No. 2, 2012: 14-16.
- Valdés Uribe, Juan David . Desempeño de materiales cementantes suplementarios en resistencia a compresión e hidratación en pastas de cemento (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás Villavicencio, Villavicencio: Facultad de Ingenierpia civil, 2019.
- Vargas Corredor, Yury Alexandra, y Liliana Ibeth Pérez Pérez. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista de Facultad de Ciencias Básicas* Vol.14 Núm. 1, 2018.