

Alternativas para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el desarrollo sostenible

Alternatives for the utilization of agro-industrial waste and sustainable development

Itzel Galaviz-Villa¹, Guadalupe Dolores Gutiérrez-Sampieri¹, Irving David Pérez-Landa¹, Virginia Alcántara-Méndez¹, Magnolia Grisel Salcedo-Garduño¹

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río. Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba. CP. 94290 Boca del Río, Veracruz, México.
irvingperez@bdelrio.tecnm.mx

Resumen

En el mundo se desechan aproximadamente 1,000 millones de toneladas de residuos orgánicos anualmente; América Latina y el Caribe son regiones productoras de biomasa natural, cerca de 1 600 millones de toneladas son cultivadas en todo el mundo, representando esta región un 13 % del total global, por la gran disponibilidad de recursos naturales en la región. Los residuos agroindustriales tienen un alto potencial de aprovechamiento como lo es la producción de bioenergía, aunque también es útil para la elaboración de productos con valor agregado tales como; alimento para animales, enzimas, mejoradores de suelo y en la elaboración de distintos materiales o productos de interés. Sin embargo, la falta de tecnología y regulaciones para la gestión, procesamiento, transporte y almacenamiento para su disposición final, genera que estos residuos terminen en vertederos a cielo abierto sin ningún tipo de tratamiento, o incluso, sean incinerados provocando serios problemas ambientales. El objetivo principal de esta revisión es identificar el estado del arte de las alternativas existentes para el aprovechamiento de residuos agroindustriales a favor del desarrollo sostenible de la actividad agroindustrial.

Palabras clave: Agroindustria; desechos agroindustriales; sostenibilidad; valorización de agro-residuos.

Introducción

La agroindustria surge de la integración entre la producción agrícola y la industria (Saval, 2012); y se consolida como uno de los sectores clave para el desarrollo económico y social a nivel global (FAO, 2013). La creciente demanda de alimentos se relaciona con el crecimiento poblacional; a principios del siglo XXI, más de 800 millones de personas sufrían hambre, una problemática que persiste en la actualidad (Pretty, 2008). Esta necesidad de abastecimiento y producción de alimentos implica la generación de grandes cantidades de residuos, los cuales comprometen significativamente el medio ambiente. Estos residuos no son aptos para el consumo humano, sin embargo; pueden ser aprovechados para generar otros productos con valor agregado (Mejías *et al.*, 2016). La amplitud de la agroindustria produce gran diversidad de desechos; en el mundo se producen aproximadamente 1,000 millones de toneladas de residuos de origen orgánico (OPN, 2022). Tan solo en América Latina y el Caribe representan el 13% de la producción de biomasa a nivel mundial, proveniente de la agroindustria (Valdez-Vázquez *et al.*, 2010). Actualmente, no representan grandes beneficios económicos, incluso su disposición final demanda altos costos para la industria (Gutiérrez-Antonio *et al.*, 2020). Por lo cual, terminan desechados en vertederos al aire libre o incinerados provocando efectos adversos al medio ambiente (Londoño, 2014).



Es necesario considerar el desarrollo de iniciativas que involucren al sector agrícola mediante el diseño de nuevas tecnologías y estrategias para el mejoramiento de la gestión de residuos agroindustriales. Esto, mediante la aplicación de procesos biológicos y ecológicos para el aprovechamiento de los residuos, que coadyuven en la mitigación del impacto ambiental de forma sostenible (Pretty, 2008). Lo cual, permitiría evitar pérdidas económicas mediante la agregación de valor a diversos subproductos a partir de una producción sostenible, más limpia y más verde (Zuin & Ramin, 2018). La valorización de residuos es considerada como un proceso con beneficios económicos tales como la bioeconomía (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020), que contribuye en gran medida en la eliminación y remediación de estos residuos agroindustriales mediante su aprovechamiento y reutilización como materia prima para generar productos con valor agregado (Ravindran *et al.*, 2018; Gaur *et al.*, 2020). De acuerdo con Mejías *et al.* (2016), los residuos agroindustriales tienen un alto potencial de aprovechamiento en la elaboración de: alimento para animales (Gaur *et al.*, 2020), enzimas (Bharathiraja *et al.*, 2017), bio-energéticos, mejoradores de suelo (Vargas & Pérez, 2018), y en la elaboración de distintos materiales o productos de interés (Ravindran *et al.*, 2018). Es fundamental considerar alternativas que se adapten a las necesidades de la sociedad, con la finalidad de mitigar la degradación medioambiental y contribuir a la sostenibilidad del sector agrícola.

La agroindustria y sus residuos

La agroindustria es definida por la FAO (2013) como las actividades con fines económicos que transforman a los productos provenientes de los sectores agrícolas, ganaderos, pesqueros y forestales; esto es, la fabricación de productos y materias primas que derivan del sector agrícola. La agroindustria es considerada como la unión existente entre la producción agrícola y la industria, con la finalidad de crear alimentos o materias primas, consignadas al comercio (Saval, 2012). Reportan Escandón & Pineda (2014), que el sector agroindustrial es dividido en dos partes; la agroindustria alimentaria cuyo alcance se centra, en los sectores agrícola, forestal y pecuario; es decir, en la materia prima para la adquisición de alimentos. La agroindustria no alimentaria, la cual se enfoca en la modificación de productos provenientes del campo como la madera, fibras, plantas, entre otros. De acuerdo con Schejtman (1994), y lo establecido por la CEPAL (2020); se distinguen cinco tipos de agroindustrias representadas en la Figura 1.

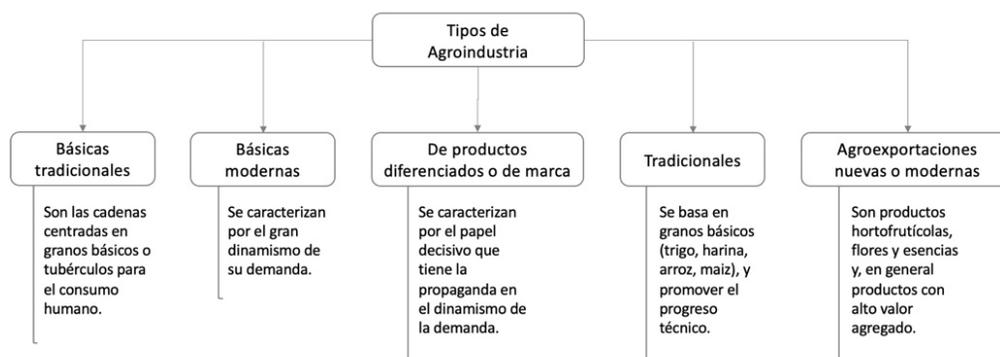


Figura 1. Tipos de agroindustria.

Fuente: Elaboración propia basado en Schejtman (1994).

La demanda de productos agrícolas es directamente proporcional al crecimiento poblacional, esta dependencia ha generado una oferta insuficiente de alimentos en diferentes partes del mundo. Como lo reporta Pretty (2008), la generación de residuos del sector primario y sus cadenas de transformación comprometen significativamente el equilibrio ecológico y dificultan la transición de las actividades agropecuarias al desarrollo sostenible. Los residuos agroindustriales son presentados en estado sólido o líquido, provenientes de la producción primaria y no son destinados para el consumo humano, sin embargo; pueden ser aprovechados para generar otros productos con valor agregado (Mejías *et al.*, 2016). La generación de residuos agroindustriales es continua, resultante de las actividades de cosecha y transformación en los cultivos de paja, tallos, hojas, cáscara de frutas y verduras, bagazo de caña de azúcar, melaza, pieles; entre otros (Panesar *et al.*, 2015).

Según Ravindran *et al.* (2018), se producen 1 300 millones de toneladas al año de alimentos para el consumo humano, siendo una tercera parte de origen agrícola. De estas, se desperdician entre 520 a 650 toneladas al año a nivel mundial. En Europa se producen alrededor de 16 millones de toneladas de productos agroindustriales, que generan alrededor de 367 millones de toneladas de residuos agrícolas anualmente, provenientes de partes vegetales que son cultivadas pero no están destinadas para el consumo humano (Correddu *et al.*, 2020; Gaur *et al.*, 2020). Tan solo en la India, se generan más de 350 millones de toneladas de residuos agroindustriales al año (Madurwar *et al.*, 2013). América Latina y el Caribe aporta el 13% de la producción de biomasa a mundial proveniente de la agroindustria (Valdez *et al.*, 2010), en esta región abundan las materias primas agrícolas y de bajo costo (Mejías *et al.*, 2016). En México, en 2014, se registró una producción de 75.73 millones de toneladas de materia seca provenientes del cultivo de maíz, sorgo, caña de azúcar, café, agave, cebada y trigo; de estas 60.13 millones de toneladas eran residuos primarios generados durante la cosecha, como son; hojas y tallos de maíz, vaina de sorgo, hojas de caña de azúcar, paja de trigo, cebada, frijol y cascaras de algodón; los 15.60 millones de toneladas restantes están representados por residuos secundarios resultado de la post-cosecha del bagazo de caña de azúcar, mazorcas, olotes, bagazo de agave o maguey y pulpa de café (Valdez *et al.*, 2010; Saval, 2012).

La variedad de residuos agroindustriales se dividen en agrícolas (primarios) e industriales (secundarios), como se muestra en la Figura 2; los primeros son aquellos generados en cultivos provenientes directamente del campo después del proceso de cosecha; incluyen principalmente; hojas, tallos, vainas de semillas, entre otros (Sadh *et al.*, 2018).

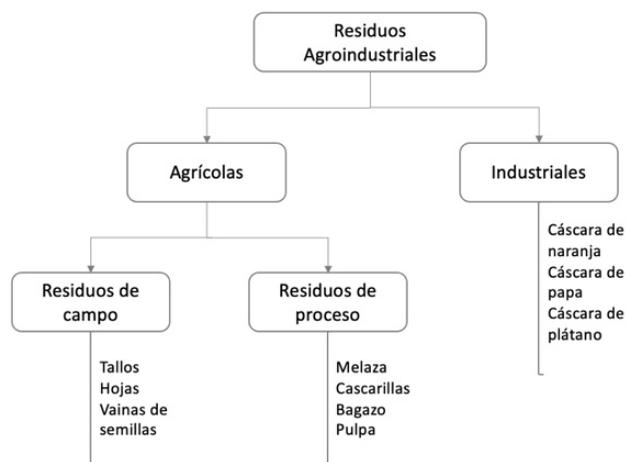


Figura 2. Tipos de residuos agroindustriales.
 Fuente: Sadh *et al.*, 2018.

Los residuos secundarios se producen después del procesamiento con fines de valor alternativo, incluidos; melaza, cascarillas, bagazo, semillas, hojas, tallos, paja, cascaras, pulpa, raíces, entre otros (Valdez *et al.*, 2010; Sadh *et al.*, 2018). Según Saval (2012), la composición de los residuos agroindustriales varía de la materia prima, y del proceso proveniente, sin embargo; tienen características similares como el contenido de materia orgánica o biomasa lignocelulósica expresado en la Tabla 1 siguiendo el contexto de varios autores; esta última presenta altos porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina.

Tabla 1. Composición proximal de los principales residuos provenientes de la agroindustria en el mundo.

Residuo agroindustrial	Carbohidratos	Fibra	Cenizas	Grasas	Proteína	Lignina
Rastrojo de Maíz	-	37.03	5.52	5.89	4.59	6.9
Bagazo de Caña de azúcar	66.48 ± 2.68	27.85	8.80 ± 0.02	0.52	2.3	17.79 ± 0.62
Cascara de arroz	14.1 ± 1.1	6.4 ± 26.9	3.4–63.0	30.4 ± 0.9	38.2 ± 23	25.63
Salvado de trigo	56.8	33.4-63.0	3.9–8.10	3.5-3.9	13.2-18.4	5.6
Residuos de café	55.53 ± 0.85	60.46 ± 2.2	1.30 ± 0.10	2.29 ± 0.30	17.44 ± 0.10	23.90 ± 0.30
Grano cervecero	79.0 ± 0.5	3.3 ± 0.1	7.9 ± 0.1	0.0 ± 0.0	2.4 ± 0.2	30.48 ± 0.8
Cascara de yuca	75.5 ± 1.2	11.2 ± 0.6	2.4 ± 0.2	3.1 ± 0.1	1.7 ± 0.1	1.92 ± 0.07
Pulpa de manzana	48.0 – 62.0	-	4.7-51.1	-	3.9-5.7	23.5
Pulpa de aceituna	34.8 ± 0.9	-	6.6 ± 0.5	16.65 ± 0.09	0.4 ± 1.0	43.2 ± 0.5
Cascara de plátano	79.0 ± 0.5	9.3 ± 0.1	2.7 ± 0.0	30.0 ± 0.2	0.6 ± 0.1	6.4-9.6
Cascara de cítricos	30	-	1.7	-	7.9	1.0
Cascarilla de algodón	-	59.21	2.5	1.16	5.92	21.5

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de FAO, 2013; Ravindran *et al.*, 2018; Sath *et al.*, 2018.

Panesar *et al.* (2015), afirman que una característica de los residuos agroindustriales es la biodegradabilidad, pues comparten similitudes en cuanto a la presencia de carbohidratos, lípidos, fibra, aceites, ceras, resinas, entre otros. Los residuos agrícolas se clasifican a partir de su solubilidad, en insolubles y solubles. Los insolubles son principalmente la lignina, celulosa, hemicelulosa y queratina; y por otro lado, los solubles representan a los aminoácidos, azúcares, ácidos orgánicos, entre otros (Gaur *et al.*, 2020).

Los residuos lignocelulósicos son estructuralmente conformados por hemicelulosa, celulosa y lignina; y los no estructurales como cenizas y proteínas, difieren en cantidades dependiendo de la materia prima de procedencia (Romaní *et al.*, 2020). El problema que enfrentan estos residuos, y prevalece a nivel mundial, es su correcto manejo y disposición; aunado a la falta de innovación tecnológica, legislaciones ambientales y la incapacidad económica para proveerles un adecuado destino final para el manejo y disposición de este tipo de residuos (Saval, 2012).

Disposición de los residuos y el cambio climático

La inadecuada disposición de residuos agrícolas, y su impacto negativo a nivel biótico, abiótico y socioeconómico causa afectaciones al medio ambiente y a la salud humana (Vargas & Pérez, 2018). Según Gutiérrez-Antonio *et al.* (2020), esta problemática radica, principalmente, en el volumen y disposición final de los residuos. Ya que, a la fecha, no generan beneficios económicos y la disposición adecuada de los mismos genera costos elevados a la industria que los produce. Estos costos están relacionados con el procesamiento de los mismos, como el secado, almacenamiento y transporte. Debido al incremento de los costos de producción agrícola, existe la posibilidad de aprovechar los residuos direccionándolos para alimentación animal y compostaje (Londoño, 2014). En la Tabla 2 se muestran algunos tratamientos para la disposición de residuos, pues generalmente son incinerados o desechados en espacios destinados para su degradación. Sath *et al.* (2018), afirman que, al ser desechados los residuos al medio ambiente sin tratamiento previo, causan problemas de contaminación ambiental relacionados con el cambio climático; debido a la emisión de gases tóxicos (SO₂, CH₄, NO₂) generados durante la descomposición de la materia orgánica, así como algunos hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP's), furanos y dioxinas; considerados gases de efecto invernadero (GEI).



Tabla 2. Tratamientos utilizados para la disposición de residuos agroindustriales.

Tipo de tratamiento	Fundamento
Incineración	Consiste en la oxidación de material combustible presente en los residuos, por medio de calor para la producción de energía.
Gasificación	Proceso térmico el cual se realiza la oxidación parcial de residuos y estos se convierten en gases de alto poder calorífico, conocidos generalmente como gases de síntesis o Syngas el cual es empleado como combustible.
Fermentación	Transformación de la materia orgánica por acción de enzimas segregadas por microorganismos anaeróbicos, que producen biogás y fertilizantes.
Compostaje	Proceso donde los residuos orgánicos se degradan por acción de microorganismos presentes en la tierra, obteniéndose el compost.
Vermicomposta	Proceso similar al compostaje, la única diferencia es la adición de lombrices para degradar la materia orgánica, en este caso se obtiene humus.
Relleno Sanitario	Es una técnica de disposición de residuos presentes en el suelo evitando impactos ambientales y sanitarios, utilizando herramientas ingenieriles para el almacenamiento de residuos para su correcta disposición.

Fuente: Cueto, 2017.

El desarrollo sostenible y la agroindustria

El constante deterioro medioambiental y las afecciones por el crecimiento agrícola, conllevan a considerar a la sostenibilidad como parte del proceso para desarrollar nuevas regulaciones, técnicas y políticas, así como financiamiento que apoyen a estos sectores agrícolas involucrados en procesos de innovación. Pretty (2008), reitera la inquietud generada por la sostenibilidad en el medio agrícola, la cual radica en el desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas que no generen efectos adversos en los bienes y servicios ambientales, de manera que los agricultores apliquen prácticas para mejorar la producción agrícola; por tal motivo se requiere de la integración de procesos biológicos y ecológicos en el sector. Dicha sostenibilidad agrícola busca estrategias para el alcance de objetivos. Estas estrategias tienen la finalidad de implementar tecnologías innovadoras que permitan cambios en la manera en cómo se lleva a cabo el proceso agrícola convencional, a partir de tecnologías verdes para la agroindustria sostenible, que se adapten a las necesidades de la sociedad para mitigar la degradación medioambiental y encontrar el equilibrio económico, social y ambiental (Zuñiga *et al.*, 2018).

Otro aspecto importante son las redes de valor para la agroindustria; las cuales son una forma de organización de un sistema productivo especializado en una actividad común, caracterizada por la concentración territorial de sus actores económicos y otras instituciones, con desarrollo de vínculos de naturaleza económica y no económica que contribuyen a la creación de riqueza tanto de sus miembros como de su territorio (Barrera-Rodríguez *et al.*, 2013). La agroindustria forma parte del sector manufacturero, donde a las materias primas agrícolas se les agrega valor a partir de su procesamiento; América Latina y el Caribe, poseen una gran disponibilidad de recursos naturales y materias primas para promover la sostenibilidad para la agroindustria (CEPAL, 2020). Las denominadas tecnologías verdes para el sector agrícola son un ejemplo de innovación, y están enfocadas en la reducción y mitigación de contaminantes, creando nuevas oportunidades a partir de productos y procesos que añaden valor a las materias primas, minimizando los desperdicios y efectos negativos causados al medio ambiente por la agroindustria (Zuñiga *et al.*, 2018). De acuerdo con CEPAL (2020), la bioeconomía es un ejemplo para impulsar la agroindustria hacia la sostenibilidad, mediante el desarrollo de estrategias que permitan el aprovechamiento de los recursos, así como el desarrollo alternativas económicas y tecnológicas que incentiven el uso de la biomasa generada en la agroindustria; puesto que esta es considerada como un desperdicio del sector agrícola, y no son categorizados como residuos consumibles por el hombre. Sin embargo, permite la producción de diferentes elementos con valor agregado, valorizando a los residuos como materia prima a partir de una producción sostenible, más limpia y más verde (Zuin & Ramin, 2018).



Marco Legal

El marco legal internacional correspondiente a la disposición final de residuos es regulado por la Norma ISO 14001, creada por la organización internacional de estandarización (ISO), la cual sugiere un adecuado manejo del ambiente en cualquier organización. Esta norma dicta que las industrias deben crear un plan de manejo ambiental estableciendo objetivos, metas, acciones y políticas responsables para controlar y reducir los efectos de la industria en el medio ambiente. Uno de los compromisos para el aprovechamiento de residuos en Latinoamérica y el Caribe, son las estrategias para atender la problemática de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos (PDA) dirigidas al desarrollo sostenible dentro de la agenda 2030. Esto, mediante normativas y leyes en distintos niveles de implementación para actuar de manera responsable y fortalecer la inversión pública y privada en ámbitos como el desarrollo de investigación y tecnologías para el aprovechamiento de alimentos, la facilidad de recuperación y donación de los mismos para promover hábitos que fomenten un consumo responsable. Una propuesta realizada por el Parlamento Latinoamericano y Caribeño (PARLATINO), fue la creación de legislaciones nacionales con la finalidad de establecer y ejecutar acciones orientadas a la reducción de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos (PDA) incluyendo todas sus etapas, desde la cosecha hasta la distribución y comercialización (FAO, 2014). El objetivo de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible propone reducir la mitad del desperdicio per cápita a nivel global en niveles de venta-consumo, reducir las pérdidas alimentarias de cadenas de producción, suministro y las pérdidas representadas post-cosecha (FAO, 2014). Dentro de lo establecido para esta agenda y en el informe 2019-2020 y lo establecido por la CEPAL, la FAO y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), promueven el desarrollo sostenible con la innovación de alternativas tecnológicas y modelos productivos como la economía circular o bioeconomía aprovechando los residuos generados en la agroindustria, fomentando la sostenibilidad (CEPAL, 2020). La bioeconomía es un ejemplo de economía sostenible, mediante la producción, utilización y conservación de los recursos naturales, en búsqueda de reemplazar el uso de recursos fósiles por residuos agrícolas, como la biomasa, mediante la innovación tecnológica sostenible (Özgül & Bogdanski, 2021). Las organizaciones internacionales están optando por el desarrollo de una economía sostenible, debido en gran parte, al desabasto de alimentos; se estima que el 60% de personas mueren por hambruna en el mundo, considerando desafíos futuros del aumento poblacional de un 30% en los próximos 35 años (Zuin & Ramin, 2018).

De manera similar la Agenda 21 emitida por la ONU hace referencia a las innovaciones tecnológicas, tales como las tecnologías verdes para el desarrollo de procesos y productos que protegen al medio ambiente, reducen su impacto contaminante y utilizan los bienes naturales fomentando la sostenibilidad; dichas tecnologías tienen la finalidad principal de disminuir los contaminantes, la energía y recursos requeridos para la producción, comercialización, y utilización de residuos mediante cambios tecnológicos (Zuñiga *et al.*, 2018).

Gestión y manejo de residuos agrícolas

La gran problemática de gestión y manejo de los residuos agroindustriales es debida a la falta de tecnología y recursos económicos para proveerles una disposición y gestión final, además de legislaciones pertinentes para la gestión y manejo desde su generación hasta su destino final (Saval, 2012). De acuerdo con Zuin & Ramin (2018), aproximadamente 140 mil millones de toneladas de biomasa proveniente del sector agrícola se generan cada año y gran parte de esta, no es apta para el consumo humano. La creación de estrategias que eviten pérdidas adicionales, generen productos con valor agregado y disminuyan el consumo de productos no renovables utilizados actualmente, tales como los combustibles fósiles, representaría una opción para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el reemplazo de los recursos no renovables por recursos sostenibles. La propuesta de gestión de residuos agroindustriales presentada por Zuin & Ramin (2018), en la Figura 3, muestra la revalorización de los residuos agroindustriales como materia prima.



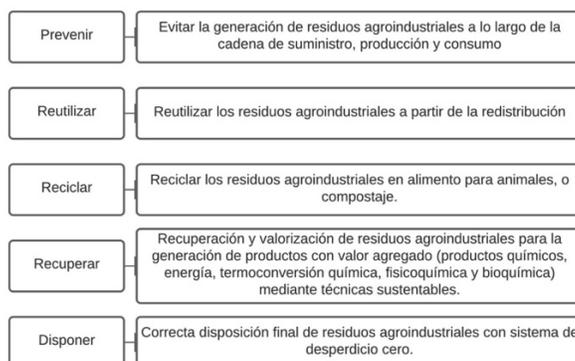


Figura 3. Gestión de residuos agroindustriales.
Fuente: Zuin & Ramin (2018).

La inadecuada gestión de residuos contribuye a problemas ambientales, tales como el calentamiento global, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del agua, aire y suelo. De acuerdo con Correddu *et al.* (2020), uno de los principales objetivos del “Séptimo Programa de Acción Medioambiental de la Unión Europea 2020” es el reciclaje y reutilización de los residuos agroindustriales, destinándolos a alternativas de utilización que contribuyan a disminuir la problemática generada por la gestión inadecuada de residuos. Las principales formas de reciclaje de residuos provenientes del maíz, soja e incluso frutas y verduras, son en la alimentación de animales, por su elevado valor nutricional; particularmente por las características presentadas de compuestos bioactivos como flavonoides, alto contenido de fibra y proteína. De igual forma, el compostaje representa una alternativa de reciclaje a partir de la generación de bio-fertilizantes provenientes de residuos de soja, paja de arroz o vinaza (Gaur *et al.*, 2020).

La valorización de residuos agroindustriales es un proceso significativamente económico que contribuye en la eliminación y remediación de los residuos agroindustriales clasificados como peligrosos, esto a partir de su aprovechamiento y utilización eficaz como materia prima para generar productos prometedores con valor agregado (Ravindran *et al.*, 2018; Gaur *et al.*, 2020). Mejías *et al.* (2016), afirman que los residuos agroindustriales comparten una característica principal, la cantidad de materia orgánica o biomasa, un elemento clave para su valorización.

Aprovechamiento de los residuos agroindustriales

La disponibilidad de residuos y sus características, son factores que determinan su aprovechamiento como materias primas de bajo costo en la adición de valor, lo que contribuye en el control de la contaminación ambiental (Panesar *et al.*, 2015), y reducción del consumo de energía (Andersen, 2003). Se han reportado diversas técnicas para la valorización de los residuos agroindustriales, destacando principalmente; la extracción de antioxidantes, elaboración de biomateriales, químicos y combustibles a partir de celulosa, lignina o hemicelulosa. Las técnicas aplicadas a la biomasa se clasifican en físicas, químicas, fisicoquímicas y tratamientos biológicos (Romaní *et al.*, 2020).

Los residuos agroindustriales presentan un contenido significativo de carbohidratos (Ravindran *et al.*, 2018; Gaur *et al.*, 2020), los cuales se han empleado en la generación de enzimas a partir de la fermentación. Estas características físico-químicas que presentan varios residuos lignocelulósicos, potencializa su aprovechamiento como materia prima.

Algunos agro-residuos importantes por su composición química son el bagazo de caña de azúcar, mazorca de maíz o el salvado de arroz; que han sido estudiadas para la producción enzimática. Saval (2012), refiere que los procesos de fermentación a partir de sustratos microbianos de residuos agrícolas con grandes cantidades de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina representan una opción viable para la producción de enzimas industriales. Las enzimas microbianas elaboradas a partir de residuos como la amilasa, celulasa, tanasa, xilasa, proteasa y lactasa tienen aplicaciones medicinales e industriales debido a sus características de estabilidad (Bharathiraja *et al.*, 2017).

Otro de los residuos agrícolas según la FAO (2014), es el biogás; en la XXXIII Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, se firmó el “Protocolo de Intención de Cooperación” para incentivar a los agricultores a reducir y aprovechar los residuos de producción y post-cosecha, en la generación de energía renovable, producción de biogás, entre otras; esta región latinoamericana es apta para el desarrollo de biocombustibles por la alta disponibilidad de recursos y biomasa (CEPAL, 2020). El manejo de residuos de cultivos agrícolas (post-cosecha) y estiércol de animales representa estrategias para la generación de productos como biogás o biofertilizantes, representando beneficios ambientales, y contribuyendo al control de la contaminación y generación de sistemas productivos eficientes (FAO, 2014).

La producción de biocombustibles a partir de la biomasa es una opción factible de aprovechamiento consideran Vargas & Pérez (2018). Esta biomasa es la forma de energía más abundante del mundo para producción de bioenergía proveniente de cultivos. La presencia de biomasa lignocelulósica, glucósidos, ácidos grasos y todos los sustratos aprovechables son aptos para transformación microbiológica y producción de bioenergéticos. La valorización de residuos se realiza con tecnologías termoquímicas como la combustión directa, gasificación y pirólisis; por medio de tecnologías biológicas como la digestión anaerobia, compostaje y fermentación. Esto que contribuye con la economía, el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Valdez *et al.*, 2010; Mejías *et al.*, 2016). La mayoría de desechos agrícolas pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles, destacando, principalmente; cascarilla de arroz, residuos de papa, aserrín, tallos de maíz, bagazo de caña de azúcar, entre otros. Los biocombustibles representan una alternativa factible, rentable y ecológica para el futuro de los combustibles.

Por otro lado, Vargas & Pérez (2018) identificaron que la producción de compost es una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos, ya que es un producto homogéneo que al estar en contacto con el suelo contribuye al incremento microbiano, aumenta los minerales, la capacidad de intercambio catiónico y la fertilidad del suelo. El compost representa un grado medio de descomposición de la biomasa aerobia de manera natural, donde intervienen microorganismos y hongos presentes en los residuos; la composta es generalmente utilizada para estabilizar los residuos y el producto obtenido se utiliza como abono en suelos agrícolas (Saval, 2012; Cueto, 2017). De acuerdo con Gaur *et al.* (2020), el compostaje es una forma de reciclaje de residuos agrícolas, generalmente son usados como bio-fertilizantes. Los residuos más utilizados son; soja, vinaza y cascarilla de arroz. También representan una alternativa para los rellenos sanitarios ya que controlan las emisiones de gases de efecto invernadero (Ravindran *et al.*, 2018).

Debido las características fisicoquímicas de algunos residuos agroindustriales, son ideales para la producción de alimentos para cerdos, rumiantes, aves, entre otros. Se ha investigado el potencial de algunos subproductos de procesamiento industrial factibles para la alimentación como los provenientes de la pulpa de remolacha, gluten de maíz, harina de semilla de algodón, harina de soja, almidón de maíz y harina de maíz (Vargas & Pérez, 2018). Los provenientes de la extracción de aceites son los mayormente empleados debido a sus características nutricionales y contenido de fibra o proteína; así como los resultantes de frutas u hortalizas que presentan componentes bioactivos como los polifenoles, proantocianidinas (taninos) o flavonoides, con efectos positivos para el rendimiento y salud de los rumiantes (Correddu *et al.*, 2020).

Algunos de residuos como la cascarilla de arroz contienen porcentajes similares de biomasa lignocelulósica utilizados en la formación de poliuretanos; de acuerdo con Madurwar *et al.* (2013), el potencial que presentan estos residuos es ideal para la elaboración de materiales sostenibles destinados para la construcción. Al igual que el bagazo de caña de azúcar que a partir del tratamiento químico por hidrólisis ácida es posible extraer celulosa y utilizarla para la elaboración de biomateriales y papel (Vargas & Pérez, 2018); o bioplásticos y elastómeros a partir de la fermentación de suero de leche (Mejías *et al.*, 2016).

Comentarios finales

La agroindustria es uno de los principales sectores con potencial en la transformación de materias en productos con fines económicos. Debido a las características físico químicas de estos residuos, pueden ser valorizados en productos de interés. Es necesario desarrollar nuevas regulaciones técnicas y políticas que brinden apoyo al sector agroindustrial para fomentar la sostenibilidad en el desarrollo de innovaciones tecnológicas que minimicen los efectos ambientales generados por la agroindustria. De tal forma, que se promuevan tecnologías verdes orientadas hacia una bioeconomía de reducción y mitigación de impactos ambientales. La valorización de los residuos agroindustriales es considerada un proceso económicamente atractivo que contribuye al alcance del equilibrio económico, social y ambiental de la actividad agroindustrial.



Referencias

- Andersen, M. (2003). ¿Es la certificación algo para mí? Una guía práctica sobre por qué, cómo y con quién certificar productos agrícolas para la exportación (RUTA-FAO). Unidad Regional de Asistencia Técnica. <https://www.fao.org/4/ad818s/ad818s00.htm>
- Barrera-Rodríguez, A. I., Baca-Del Moral, J., Santoyo-Cortés, H. V., & Reyes-Altamirano C. J. (2013). Propuesta metodológica para analizar la competitividad de redes de valor agroindustriales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 32, 231-244. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14125584007>
- Bharathiraja, S., Suriya, J., Krishnan, M., Manivasagan, P., & Kim, S. K. (2017). Production of enzymes from agricultural wastes and their potential industrial applications. *Advances in food and nutrition research*, 80, 125-148. 10.1016/bs.afnr.2016.11.003
- Comisión Económica para América LATina y el Caribe (CEPAL). (2020). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020. <http://cepal.org/es/publicaciones/45111-perspectivas-la-agricultura-desarrollo-rural-america-mirada-america-latina>
- Correddu, F., Lunesu, M. F., Buffa, G., Atzori, A. S., Nudda, A., Battacone, G., & Pulina, G. (2020). Can Agro-Industrial By-Products Rich in Polyphenols be Advantageously Used in the Feeding and Nutrition of Dairy Small Ruminants? *Animals*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/ani10010131>
- Cueto, C. A. N. (2017). Evaluación de tecnologías para la reutilización, valorización y disposición de residuos orgánicos. (Tesis para la obtención de grado de licenciatura), Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145901>
- Escandón, J. & Pineda, D. (2014). El comercio exterior agroindustrial mexicano y sus estrategias de exportación. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 200. <https://ideas.repec.org/a/erv/observ/y2014i20001.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). Agroindustrias para el desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3125s>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6b37c91c-d542-4403-b24e-36b091ed0236/content>
- Gaur, V. K., Sharma, P., Sirohi, R., Awasthi, M. K., Dussap, C. G. & Pandey, A. (2020). Assessing the impact of industrial waste on environment and mitigation strategies: a comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 398. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123019>
- Gutiérrez-Antonio, C., De Lira-Flores, J. A., Quiroz-Pérez, E., & Martínez-Guido, S. I. (2020). Conversión de residuos agroindustriales para la generación de biocombustibles, productos de valor agregado y bioenergía. *Digital Ciencia @UAQRO*, 13(1), 27-35. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/41>
- Londoño, L. J. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: Una aproximación desde la nutrición animal. Red Colombiana de Información Científica, Informe técnico. <https://repositorio.minciencias.gov.co/entities/publication/de33a9f1-ae5f-4a37-8c68-2c2b030fad09>
- Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872-878. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>
- Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., & Galáan-Hernández, N. (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. https://www.researchgate.net/publication/323959087_Aprovechamiento_de_los_residuos_agroindustriales_y_su_contribucion_al_desarrollo_sostenible_de_Mexico
- One Planet Network (OPN). (2022). Circular economy of organic waste for the city and the countryside. <https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/economia-circular-de-los-residuos-organicos-para-la-ciudad-y-el-campo>.



- Özgül C. A., & Bogdanski, A. (2021). Linking the bioeconomy to the 2030 sustainable development agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy? *New Biotechnology*, 61, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.010>
- Panesar, R., Kaur, S., & Panesar, P. S. (2015). Production of microbial pigments utilizing agro-industrial waste: a review. *Current Opinion in Food Science*, 1, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.002>
- Pretty, J. (2008). Sostenibilidad agrícola: conceptos, principios y evidencia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 447-465. <http://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Ravindran, R., Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. (2018). A Review on Bioconversion of Agro-Industrial Wastes to Industrially Important Enzymes. *Bioengineering*, 5(4), 93. <https://doi.org/10.3390/bioengineering5040093>
- Romaní, A., Rocha, M. R., Michelin, M., Domingues, L., & Teixeira, J. A. (2020). Capítulo 20: Valoración de residuos a base de lignocelulosa. En S. Varjani, A. Pandey, E. Gnansounou, S. K. Khanal, & S. Raveendran (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 383-410). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00020-3>.
- Sadh, P. K., Duhan, S., & Duhan, J. S. (2018). Residuos agroindustriales y su utilización mediante fermentación en estado sólido: una revisión. *Bioresource Technology and Bioprocessing*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14-46. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf
- Schejtman, A. (1994). Agroindustria y transformación productiva de la pequeña agricultura. *Revista de la CEPAL*, 53, 147-157 <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/86028f25-9830-434c-bd26-d680eca36083/content>
- Valdez-Vázquez, I., Acevedo-Benítez, J. A., & Hernández-Santiago, C. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2147-2153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.034>.
- Vargas, C. Y. A., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Zuin, V. G., & Ramin, L. Z. (2018). Green and sustainable separation of natural products from agro-industrial waste: Challenges, potentialities, and perspectives on emerging approaches. *Topical Reviews in Chemical Science*, 376(3). <https://doi.org/10.1007/s41061-017-0182-z>.
- Zuñiga, I. C., Lona, L. R., & Flores, M. D. R. S. (2018). Las tecnologías verdes en la agroindustria en México. Caso de dos empresas hortofrutícolas. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 10(1). <https://riico.net/index.php/riico/article/viewFile/1406/1074>.

