

# CONVERSIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS MEDIANTE UN ESQUEMA DE BIORREFINE- RÍA EN BIOCOMBUSTIBLES Y PRODUC- TOS DE VALOR AGREGADO: PANORAMA Y PERSPECTIVAS

---

Conversion of organic waste through a biorefinery scheme into biofuels and  
value-added products: overview and perspectives

Valeria Caltzontzin Rabell<sup>1</sup>, Claudia Gutiérrez Antonio<sup>1\*</sup>, Juan Fernando García Trejo<sup>1</sup>,  
Ana Angélica Feregrino Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala

\*Correo electrónico: claugtez@gmail.com

## RESUMEN

La cantidad de residuos orgánicos desechados a nivel mundial aumenta de manera considerable cada año, y el manejo de estos desechos no sólo requiere de recursos económicos, sino que genera gases de efecto invernadero que impactan el ambiente negativamente. Una tecnología emergente que permite la revalorización de estos residuos orgánicos es la biorrefinería, que se alinea con el concepto de economía circular y de la cual se obtienen biocombustibles y productos de valor agregado. En este trabajo se realiza una revisión de las biorrefinerías propuestas para la conversión de residuos orgánicos, además, se destacan la materia prima utilizada y los productos generados, así como la realización de diversos estudios de viabilidad. Como conclusión, se afirma que aún son necesarios estudios más detallados para evaluar los beneficios de su aplicación y que la selección de los procesos de conversión es de vital importancia para la obtención óptima de los productos

**PALABRAS CLAVE:** BIO, revalorización, residuos orgánicos, biorrefinería, biocombustibles, productos de valor agregado.

## ABSTRACT

The amount of organic waste generated worldwide is increasing considerably every year, and not only does the disposal of this waste require economic resources, but also creates greenhouse gases that negatively impact the environment. An emerging technology that is aligned with the concept of circular economy and allows the revaluation of these organic wastes is the biorefinery, from which biofuels and value-added products are obtained. Thus, in this work a review of the proposed biorefineries for the conversion of organic waste is carried out, which highlights the feedstock used and the generated products, as well as conducting feasibility studies. It is concluded that more detailed studies are still required to evaluate the benefits of its application, and that the selection of conversion processes is important for the optimal obtaining of products.

**KEYWORDS:** BIO, revalorization, organic wastes, biorefinery, biofuels, value-added products.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), un tercio de los alimentos que se producen a nivel mundial se

desechan anualmente [1]; esto representa aproximadamente 1300 millones de toneladas, por lo que su manejo resulta de gran interés social y ambiental, además de económico.

En el aspecto social, el manejo de estos residuos desde su traslado hasta su tratamiento posibilita la generación de empleos. En el aspecto ambiental, dos de las estrategias actuales para el manejo de residuos son su disposición en rellenos sanitarios e incineración. No obstante, cuando los residuos llegan a los rellenos sanitarios, comienzan a descomponerse y liberan gases de efecto invernadero, como el metano y dióxido de carbono. El interés económico surge de la cantidad de recursos que se emplean en el manejo de estos residuos, ya que, aunque hay estrategias para su tratamiento, cada vez hay una mayor cantidad de ellos.

Las pérdidas y los residuos alimenticios representan 680 000 millones de dólares en los países industrializados y 310 000 millones en países en desarrollo; dicha estimación proviene de la generación de residuos por habitante: en América del Norte y Europa oscila entre 95 y 115 kg/año, mientras que en África y Asia sólo se generan entre 6 y 11 kg/año [2]. Por ello, la revalorización de los residuos orgánicos se ha convertido en una estrategia interesante que posibilita resolver el problema del manejo de los residuos y, al mismo tiempo, generar nuevos productos, entre los cuales se encuentran algunos biocombustibles y químicos, así como productos de valor agregado. La gran demanda de tales mercancías está forzando a cambiar la actual economía lineal a una economía circular. La economía circular permitiría aprovechar los residuos que en una economía lineal se descartarían, para integrarlos nuevamente en la cadena de producción; así se disminuirá la brecha entre sustentabilidad ambiental y crecimiento económico [3].

En México se producen anualmente aproximadamente 76 millones de toneladas de residuos orgánicos, de las cuales el 79 % provienen de la agricultura y el otro 21 % de la agroindustria [4]. Estos datos evidencian la necesidad de impulsar la investigación que permita reducir la contaminación que estos residuos generan y obtener nuevos productos que brinden beneficios económicos. Es aquí donde el concepto de biorrefinería cobra relevancia, ya que se encuentra alineado con la economía circular.

Una biorrefinería se define como una instalación en la cual se puede obtener energía y diversos productos de valor agregado a partir de biomasa [5]. Las biorrefinerías pueden clasificarse según los productos que generen, los procesos que requieran o la materia prima que utilicen. Respecto a esta última clasificación,



la biomasa o materia prima se ordena por generaciones: la primera generación abarca biomásas agrícolas o alimenticias, las cuales consisten principalmente de semillas o granos con alto contenido de azúcares, almidones o aceites; estas biomásas pueden tratarse sin procesos especializados o costosos [6], [7]. Sin embargo, la principal desventaja es que esta rama compite directamente con la nutrición humana, lo cual genera otros problemas, como deforestación y uso de agua, e impacta en el ambiente y los costos de producción. Por otra parte, en la segunda generación se encuentra principalmente la biomasa lignocelulósica —residuos agroindustriales, alimenticios, agrícolas o maderas—. Esta biomasa no compite con la nutrición humana, pero su tratamiento para la obtención de residuos requiere más inversión [8]; algunos de los productos que pueden obtenerse incluyen biocombustibles y derivados de lignina [9]. Finalmente, la biomasa de tercera generación incluye organismos genéticamente modificados para obtener un mejor crecimiento, o bien una producción máxima de aceites o azúcares; también incluye microalgas, que no requieren tierra cultivable y de las cuales se pueden obtener nutraceuticos, fertilizantes orgánicos, alimentos y biocombustibles [3], [7], [8], [10].

Como se mencionó anteriormente, una biorrefinería puede utilizar diferentes tipos de biomasa y, aunque se han propuesto diferentes materias primas de primera generación, actualmente se busca el aprovechamiento de residuos orgánicos [11]. Entonces, una biorrefinería de residuos orgánicos promete lograr una ruta sostenible con bajo impacto ambiental [3]. Por lo tanto, en el presente trabajo se revisan las biorrefinerías que han sido propuestas para la conversión de residuos orgánicos, señalando los productos obtenidos; asimismo, se provee un panorama general del potencial de esta tecnología y sus beneficios, además de las perspectivas de la misma.

## PRODUCTOS DE BIORREFINERÍAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS

### RESIDUOS DEL ACEITE DE OLIVA

El procesamiento de las aceitunas para obtener aceite de oliva genera agua residual que no puede ser reutilizada y debe tratarse previo a su desecho. Esta agua residual pasa por diferentes tratamientos que permiten disminuir su demanda biológica y química de oxígeno; mientras más alta sea esta demanda, menor será su biodegradabilidad. Se sabe que tan sólo en países mediterráneos se producen más de  $3 \times 10^{10}$

litros de agua residual durante la temporada de cosecha y procesamiento, la cual tiene una duración de hasta 60 días. Por ello, se ha propuesto utilizar este residuo para obtener diversos productos como biogás, celulosa, microalgas, ácidos grasos volátiles, biohidrógeno, bioetanol, lipasas y polifenoles. Aunque se analizó el proceso de producción de estos productos, no se reporta un análisis económico [12].

De la misma manera, se aborda la posible revalorización de residuos agroindustriales derivados del procesamiento para obtener aceite de oliva. Anualmente se producen alrededor de 12 millones de toneladas de aceitunas, de las cuales 3.6 millones quedan como residuo sólido; a partir de éste se propone obtener productos como vapor, energía calorífica, resinas, polímeros, compuestos aromáticos, fibras de carbón, etanol, oligosacáridos, proteínas, azúcares, fenoles, fertilizante, biogás, entre otros. Los autores concluyen que mientras más materias primas se tengan, más productos pueden obtenerse. Además, se requiere una investigación que permita optimizar, escalar e integrar los procesos propuestos [13].

### RESIDUOS DEL PROCESAMIENTO DE TAPIOCA

Los residuos generados por el proceso de conversión de la tapioca en harina y almidones no son aprovechados, lo que genera contaminación y malos olores cuando son desechados. Un promedio de 5.15 millones de toneladas de residuos de tapioca son generados anualmente, por lo que su manejo resulta complicado. Así, se plantea una solución a este problema mediante su aprovechamiento para la obtención de productos como bioetanol, biometano, biohidrógeno, ácidos grasos volátiles, ácido cítrico, láctico y succínico [14]. Los autores mencionan que la generación de bioetanol es factible desde el punto de vista técnico, pero no es rentable debido al alto costo de inversión en agua y tecnología requeridos.

Ahora bien, el biometano y biohidrógeno pueden proveer calor para la planta por medio de la digestión anaeróbica; sin embargo, se requiere disminuir los sólidos suspendidos para aumentar su producción. Es importante mencionar que el ácido succínico obtenido tendría un menor precio, debido al uso de residuos para su generación. Finalmente, los autores concluyen que aún se requiere un análisis económico más profundo para conocer si el proyecto sería o no viable.

Anualmente se generan hasta 20 metros cúbicos de agua residual por tonelada de tapioca procesada, lo que implica una oportunidad para su uso. En otro trabajo se aborda el uso de este mismo residuo además

de agua residual para la obtención de bioetanol, biogás, ácido succínico y jarabe de glucosa [15]. En dicho estudio se simularon escenarios con diferentes procesos, residuos y productos obtenidos. Asimismo, se realizó un análisis técnico y económico para observar su viabilidad; se concluyó que generar todos los productos demandaría el doble de energía que si sólo se obtuviera biogás, y esto sería suficiente para operar la biorrefinería.

#### RESIDUOS DEL PROCESAMIENTO DE JENGIBRE

En [16] se describe la revalorización de residuos de jengibre obtenidos después de su procesamiento para hacer bebidas o medicinas herbales. En 2016 se produjeron alrededor de 3.3 millones de toneladas de jengibre a nivel mundial, pero sólo se aprovecha el 10 % de su peso en seco, generando una gran cantidad de sólidos no aprovechables. El destino final de dichos residuos es la incineración y los vertederos, o son usados como alimento de bajo valor nutricional para animales, por lo que su uso dentro de un esquema de biorrefinería para explorar la recuperación de recursos resulta interesante. Los productos de dicha revalorización son bioaceite, carbón, almidón, celulosa e hidrolizados. El aceite extraído, además de su potencial para la obtención de biodiésel, contiene moléculas encontradas en el aceite de jengibre comercial, lo que genera una oportunidad inmediata de valorización. Los procesos se llevaron a cabo en escala laboratorio y se probó su viabilidad. Sin embargo, se requieren análisis económicos y ambientales para complementar los resultados obtenidos.

#### RESIDUOS DE PALMA

Los residuos lignocelulósicos, como las hojas de palma, podrían ser utilizados en un esquema de biorrefinería para la generación de productos de valor agregado como bioetanol, carbón activado, fertilizante o fibras naturales, utilizadas como sustituto de la fibra de vidrio actual. Se estima que se producen anualmente alrededor de 6 millones de toneladas de residuos de hoja de palma, las cuales son quemadas y/o desechadas, por lo que su aprovechamiento dentro de un esquema de biorrefinería contribuye a disminuir la contaminación que generan [17].

#### RESIDUOS AGRÍCOLAS Y GANADEROS

En [18] se examinó la idea de una biorrefinería de diferentes materias primas, con la finalidad de ser sustentable y evitar problemas de abastecimiento. A ni-

vel mundial se producen anualmente alrededor de 140 mil millones de toneladas de biomasa proveniente del sector agrícola, las cuales pueden ser utilizadas como materia prima para así dar una solución al problema de abastecimiento. Como materias primas se propusieron cultivos de algodón, arroz, caña de azúcar, tabaco, naranja, soya, maíz, trigo y estiércol de pollo, bovinos y cerdos, ya que, tan sólo en China, se generan al año 3 190 millones de toneladas de estiércol, lo cual puede representar otra oportunidad de aprovechamiento.

Como productos a generar por los cultivos se sugirieron: bioetanol, biogás, electricidad, calor, biodiésel y fertilizantes. Por otra parte, los autores concluyeron que se podían hidrolizar y obtener aminoácidos, ácidos grasos insaturados, aceites, polisacáridos, hidrógeno y metano del estiércol.

Finalmente, se evaluó de manera teórica la biorrefinería, y se sugiere que se haga un análisis técnico, económico y social para corroborar su viabilidad.

En otro artículo, ver [19], mencionan que solamente el 20 % de los residuos agrícolas y ganaderos se tratan, lo que genera problemas de contaminación.

Por ello, se propone que se utilicen en un esquema de biorrefinerías para producir metano y polímeros. Sin embargo, se requieren más investigaciones sobre el tema, además de apoyos gubernamentales para que los productores accedan a estas tecnologías y puedan utilizarlas.

Otra propuesta reportada, ver [20], describe el problema de los residuos agrícolas y ganaderos, y plantea su conversión en biogás y fertilizante, lo cual podría beneficiar a los productores según lo calculado.

#### RESIDUOS DEL PROCESAMIENTO DE MANGO

India es el principal productor de mango a nivel mundial, y exporta la fruta completa o procesada. El procesamiento del mango genera diferentes residuos, como cáscaras y semillas, las cuales ascienden hasta entre 43 000 y 86 000 toneladas. El interés para que estos residuos sean utilizados como materia prima en una biorrefinería surge de la necesidad de recursos disponibles que se generen en una gran cantidad. El mango es una fruta que se produce en cantidades industriales y que origina una gran cantidad de residuos, ya que sólo se aprovecha de un 60 a 75 %, por lo que cumple con este requisito. Estos residuos pueden ser aprovechados para extraer productos como polifenoles, pectina, aceite (que puede utilizarse para obtener biodiésel), proteínas y almidón, en vez de ser utilizados en composta. Cada uno de los procesos necesarios para la obtención de estos productos fueron probados a escala laboratorio, ver [21]. Con base en



estos datos se hicieron simulaciones para encontrar la recuperación óptima de producto.

#### 14 RESIDUOS DE FIDEOS

Respecto a alimentos como los fideos, se generan anualmente 30 000 toneladas de residuos sólo en la India (ya sean efluentes o productos desechados). Dichos residuos contaminan el medio ambiente debido a su actual tratamiento, que consiste en desecho o incineración. En [22] se propone utilizarlos para generar productos como biodiésel, bioetanol o microalgas. Asimismo, se sugiere realizar más investigaciones para poder desarrollar la tecnología necesaria, así como la logística de la recolección de la materia prima.

#### RESIDUOS DEL PROCESAMIENTO DEL AGAVE

Después del procesamiento del agave para obtener el ixtle se genera un residuo llamado "guishe", el cual se incinera o tira sin otro tratamiento. En México se producen anualmente 147 178 toneladas de este residuo. Así, en un estudio se propone el aprovechamiento del "guishe" para obtener saponinas, fitoquímicos, syngas, biocarbón, bioetanol, biogás y enriquecedores de suelo; cabe mencionar que estos productos fueron obtenidos en escala laboratorio. Aunque los resultados muestran que su uso dentro de una biorrefinería puede ser viable, es importante realizar estudios económicos para determinar si es posible recuperar una mayor cantidad de productos [23].

#### RESIDUOS LÁCTEOS

En un trabajo reportado, ver [24], se propuso la conversión de los residuos lácteos mediante un esquema de biorrefinería para revalorizarlos; éstos representan un problema, ya que, contando únicamente en Europa, anualmente se generan aproximadamente 29 millones de toneladas de residuos.

Entre los productos propuestos se encuentran el ácido láctico, galactooligosacáridos, bioetanol, biohidrógeno, biometano y bioplásticos. No obstante, se sugiere realizar más análisis para mejorar esta tecnología, ya que permite crear un ciclo donde no existan residuos.

#### RESIDUOS DEL PROCESAMIENTO DE NARANJA

Diversos autores abordan el tema de los residuos del procesamiento de las naranjas. La naranja es una de las frutas más cultivadas a nivel mundial, con aproxi-

madamente 70.2 millones de toneladas y, de la producción total, el 50 % se utiliza para extraer jugo de naranja, lo que genera una gran cantidad de residuos que consisten principalmente en cáscaras, de las cuales pueden obtenerse productos como la pectina, biogás y ácido mícico. Se evaluaron a escala laboratorio los procesos de conversión de estos residuos a los productos previamente mencionados, bajo un esquema de biorrefinería y se simularon después para evaluarlos. Aunque se lograron obtener los productos, aún se requieren propuestas para aumentar su rendimiento; especialmente, si se logran escalar, se podrían obtener beneficios económicos y ambientales [25].

Otra propuesta plantea obtener productos como aceites esenciales, pectina, ácido succínico y fertilizante bajo el concepto de una biorrefinería de cáscaras de naranja. Los procesos de obtención de dichos productos se probaron a escala laboratorio y, aunque dichos procesos parecen viables, aún se requiere hacer más investigación al respecto, principalmente del fertilizante y su aplicación en plantas [26]. En otro artículo [27] se describe el desarrollo de una biorrefinería con residuos del procesamiento de la naranja para producir azúcares, antioxidantes, aceites esenciales, pectina y celulosa bacteriana. Los autores concluyen que se requieren más estudios para evaluar la biorrefinería propuesta, enfocándose en su optimización para extraer los compuestos de valor agregado. Se requiere además un análisis económico y de la técnica para asegurar su viabilidad.

#### RESIDUOS LÁCTEOS Y DEL PROCESAMIENTO DEL TEQUILA

Un artículo, ver [28], propone el uso de los desechos de la producción de quesos y tequila para ser usados como materias primas en un esquema de biorrefinería. En esta región del oeste de México, se generan por día alrededor de 100 toneladas de residuos lácteos y 3 900 toneladas de bagazo. Entonces, se propone una biorrefinería que utilice una mezcla de ambos residuos, así como paja de trigo para producir bioetanol, biohidrógeno, ácidos acético y butírico y biogás. Gracias a simulaciones realizadas, se observa que la energía producida podría cubrir la demanda. Se concluye que la mezcla de biomásas aumenta la productividad y los beneficios económicos y ambientales.

#### RESIDUOS MUNICIPALES Y ALIMENTICIOS

Respecto a los residuos municipales, se desechan en la Unión Europea alrededor de 89 y 100 millones de toneladas anuales, es por ello que su revalorización se

ha abordado en diversos estudios [29]. En una nueva propuesta, ver [29], se explica que se pueden obtener nuevas materias si utilizamos insectos para el tratamiento de residuos. Así, sería posible obtener productos como proteína, biodiésel y quitina; sin embargo, se requieren más estudios y legislación para el uso de esta novedosa tecnología.

En cuanto a los residuos alimenticios, existen diversos autores que han revisado la obtención de productos de valor agregado a partir de ellos, ya que, como se mencionó previamente, esto representa aproximadamente 1 300 millones de toneladas. Es importante recordar que, dependiendo de la composición de los residuos y procesos utilizados, serán los productos generados. Sin embargo, se ha reportado de manera general que pueden obtenerse los siguientes productos: azúcares, biohidrógeno, biometano, ácidos grasos volátiles, ácidos grasos de cadena media, bioetanol, biobutanol, biodiésel, biopolímeros y fertilizantes [3].

[30] describe una propuesta para la generación de ácido láctico, fertilizante y bioetanol. En dicho estudio se realizaron simulaciones basadas en datos experimentales, y se concluyó que, además de obtener los productos, se reducen los residuos y se tiene un beneficio económico. Un nuevo acercamiento propuesto, ver [31], menciona el uso de insectos para tratar los residuos orgánicos generados en los mercados; dichos residuos incluyen aquellos de frutas y vegetales, ya que generan beneficios ambientales además de productos. Los autores mencionan que aún falta información respecto a seguridad humana y ética para el bienestar animal para ayudar a complementar los resultados obtenidos.

## **BENEFICIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LAS BIORREFINERÍAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

Desde el punto de vista técnico, la obtención de productos de valor agregado a partir de residuos orgánicos en un esquema de biorrefinería es posible. Sin embargo, es importante saber si los beneficios económicos y ambientales compensan la tecnología propuesta.

El uso de las biorrefinerías podría reducir el negativo impacto ambiental que los residuos tienen, ya que se aprovechan los efluentes generados al integrar diferentes procesos para obtener una recuperación máxima de productos [3]. Además, las biorrefinerías permiten reutilizar la biomasa y disminuir así la huella de carbono que, de otra manera, terminaría generándose por la quema o entierro de ésta, disminuyendo a su vez su tiempo de degradación. Asimismo, posibilitan generar biocombustibles que sustituyan parcialmen-

te a los combustibles fósiles. Por último, se crearían empleos que permitirían integrar cadenas agrícolas e industriales, lo que promovería una economía de tipo-circular [11], [32].

Así, una economía circular promete ser una economía sustentable que se basa en reciclar o reutilizar los residuos de manera integral; lo anterior con el objetivo de minimizarlos, eliminando también el concepto de "vida útil" de un producto. Las biorrefinerías reflejan los objetivos de esta economía, produciendo nuevos químicos y biocombustibles, reduciendo la generación de gases de efecto invernadero y creando nuevas oportunidades de negocio [11]. Es importante resaltar que el potencial económico dependerá de la eficiencia de las estrategias de conversión utilizadas, la materia prima y los productos a generarse.

Respecto a la producción de biocombustibles, se considera necesaria la integración de procesos dentro de una biorrefinería para hacerla rentable; de esta manera se reducen costos al escalar el proceso. Sin embargo, los obstáculos que aún existen se relacionan con el incremento de la conversión y selectividad de los procesos de producción [4].

Entonces, la investigación respecto al uso de residuos en biorrefinerías debería enfocarse en el análisis de la composición de residuos específicos, así como el aislamiento de compuestos por medio del pretratamiento; lo anterior con el objetivo de que se aumente la productividad y se simplifiquen los procesos utilizados. Finalmente, se sugiere realizar una evaluación de la viabilidad a escala laboratorio como primer paso para poder escalar el proceso, además de estudios adicionales sobre el desarrollo de procesos, su optimización y la calidad de los productos obtenidos [8].

Cabe añadir que un proceso que no se ha evaluado en un esquema de biorrefinería de manera técnica, ambiental o económica es el tratamiento con insectos. Este tratamiento promete una alta eficiencia de conversión, así como una amplia variedad de los productos que se podrían generar.

Con base en lo anterior, se sugiere el uso y análisis detallado de insectos como tratamiento biológico en un esquema de biorrefinería con el objetivo de optimizarla y acercarla aún más al concepto de economía circular por medio de la reevaluación revalorización de residuos orgánicos.

## **CONCLUSIONES**

En el presente artículo se revisaron los productos generados o propuestos en diferentes biorrefinerías. La mayoría de los artículos reportados hacen análisis de





viabilidad con datos experimentales; sin embargo, hacen falta análisis económicos y ambientales de las propuestas para determinar si una biorrefinería será sustentable en todos los aspectos. Existen beneficios ambientales al hacer uso de esta tecnología: la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y la revalorización de los residuos. Además, en las biorrefinerías es posible generar biocombustibles, productos de valor agregado y bioenergía. En el aspecto económico, los beneficios se basan en el aprovechamiento de la energía obtenida en los procesos de conversión, además de la venta de los otros productos. El objetivo en este caso es el desarrollo de mejores procesos de conversión, ya que los productos generados y su calidad dependen de la biomasa y los procesos de conversión seleccionados. Por lo que se requiere de análisis más detallados que permitan evaluar cada biorrefinería propuesta.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo durante la investigación.

## REFERENCIAS

- [1] FAO. (2011) Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>
- [2] CCA. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. "Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético", 52 pp. 2017.
- [3] S. Dahiya, A. N. Kumar, J. Shanthi Sravan, S. Chatterjee, O. Sarkar and S.V. Mohan, "Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy". *Bioresource Technology*, vol. 248, pp. 2–12, 2018.
- [4] D. Carrillo-Nieves, M.J. Rostro Alaní, R. de la Cruz Quiroz, H.A. Ruiz, H.M.N. Iqbal and R. Parra-Saldívar, "Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 102, pp. 63–74, 2019.
- [5] G. B. Sperandio and E. X. Ferreira Filho, "Fungal co-cultures in the lignocellulosic biorefinery context: A review". *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol.142, pp. 109–123, 2019.
- [6] M. Demirbas Fatih M, "Biorefineries for biofuel upgrading: a critical review". *Applied Energy*, vol. 86, pp. S151–61, 2009.
- [7] C. Gutierrez-Antonio, F. I. Gómez-Castro, J.A. de Lira-Flores and S. Hernández, "A review on the production processes of renewable jet fuel". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, pp. 709-729, 2017.
- [8] X. Yang, H.S. Choi, C. Park and S. W. Kim, "Current states and prospects of organic waste utilization for biorefineries". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 335–349, 2015.
- [9] Ghatak Himadri-Roy, "Chemical Biorefineries from the perspective of sustainability: Feedstocks, products, and processes". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 4042–4052, 2011.
- [10] C. G. Khoo, Y. K. Dasan, M. K. Lam and K. T. Lee, "Algae biorefinery: Review on a broad spectrum of downstream processes and products". *Bioresource Technology*, vol. 292, 121964, 2019.
- [11] S. Venkata Mohan, S. Dahiya, K. Amulya, R. Katakajwala and T.K. Vanitha, "Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries — A closer look". *Bioresource Technology Reports*, vol. 7, 100277, 2019.
- [12] A. ElMekawy, L. Diels, L. Bertin, H. De Wever and D. Pant, "Potential biovalorization techniques for olive mill biorefinery wastewater". *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol. 8, pp. 283–293, 2014.
- [13] M.J. Negro, P. Manzanares, E. Ruiz, E. Castro, M. Ballesteros, "The biorefinery concept for the industrial valorization of residues from olive oil industry" *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*: Elsevier Inc., 2017.
- [14] M. Zhang, L. Xie, Z. Yin, S.K. Khanal and Q. Zhou, "Biorefinery approach for cassava-based industrial wastes: Current status and opportunities". *Bioresource Technology*, vol. 215, pp. 50–62, 2016.
- [15] R. K. Padi and A. Chimphango, "Feasibility of commercial waste biorefineries for cassava starch industries: Techno-economic assessment". *Bioresource Technology*, vol. 297, 122461, 2020.
- [16] Y. Gao, M.Z. Ozel, T. Dugmore, A. Sulaeman and A.S. Matharu, "A biorefinery strategy for spent industrial ginger waste". *Journal of Hazardous Materials*, vol. 401, 123400, 2021.
- [17] J. R. Bastidas-Oyanedel, C. Fang, S. Almardeai, U. Javid, A. Yousuf and J.E. Schmidt, "Waste biorefinery in arid/semi-arid regions". *Bioresource Technology*, vol. 215, pp. 21-28, 2016.
- [18] T. Forster-Carneiro, M.D. Berni, I.L. Dorileo and M.A. Rostagno, "Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil". *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 77, pp. 78–88, 2013.
- [19] M. K. Awasthi, S. Sarsaiya, S. Wainaina, K. Rajendran, S. Kumar and W. Quan, "A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: Technological challenges, advan-

cements, innovations, and future perspectives". *Renewable and Sustainable Energy*, vol. 111, pp. 115–131, 2019.

[20] O. Silván-Hernández, F. De la Cruz-Burelo, M. Macías-Valadez and L. Pampillón-González, "Theoretical and technical biomass resource assessment from swine and cattle manure in Tabasco: A case study in southeast Mexico". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 23, pp. 83–92, 2017.

[21] A. Arora, J. Banerjee, R. Vijayaraghavan, D. MacFarlane and A. F. Patti, "Process design and techno-economic analysis of an integrated mango processing waste biorefinery". *Industrial Crops and Products*, vol. 116, pp. 24–34, 2018.

[22] S.K. Karmee, "Noodle waste based biorefinery: an approach to address fuel, waste management and sustainability". *Biofuels*, vol. 9, pp. 395–404, 2018.

[23] L. Díaz-Jiménez, S. Carlos-Hernandez, D. Jasso de Rodríguez and R. Rodríguez-García, "Conceptualization of a biorefinery for guishe revalorization". *Industrial Crops and Products*, vol. 138, 111441., 2019.

[24] R. Chandra, C. Castillo-Zacarias, P. Delgado and R. Parra-Saldívar, "A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index". *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 1184–1196, 2018.

[25] M. Ortiz-Sanchez, J.C. Solarte-Toro, J. A. González-Aguirre, K.E. Peltonen, P. Richard and C.A. Cardona Alzate, "Pre-feasibility analysis of the production of mucic acid from orange peel waste under the biorefinery concept". *Biochemical Engineering Journal*, vol. 161, 2020.

[26] M. Patsalou, A. Chrysargyris, N. Tzortzakis and M. A. Koutinas, "A biorefinery for conversion of citrus peel waste into essential oils, pectin, fertilizer and succinic acid via different fermentation strategies". *Waste Management*, vol. 113, pp. 469–477, 2020.

[27] E. Tsouko, S. Maina, D. Ladakis, I.K. Kookos and A. Koutinas, "Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams". *Renewable Energy*, vol. 160, pp. 944–954, 2020.

[28] A. Sanchez, G. Magaña, M.I. Partida and S. Sanchez, "Bi-dimensional sustainability analysis of a multifeed biorefinery design for biofuels co-production from lignocellulosic residues and agro-industrial wastes". *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 107, pp. 195–217, 2016.

[29] F. Giroto and R. Cossu, "Role of animals in waste management with a focus on invertebrates' biorefinery: An overview". *Environmental Development*, vol. 32, 2019.

[30] F. Demichelis, S. Fiore, D. Pleissner and J. Venus,

"Technical and economic assessment of food waste valorization through a biorefinery chain". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, pp. 38–48, 2018.

[31] S. Cappellozza, M. G. Leonardi, S. Savoldelli, D. Carminati, A. Rizzolo and G. Cortellino G, "A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy". *Animals*, vol. 9, pp.1–24, 2019.

[32] A. S. Nizami, M. Rehan, M. Waqas, M. Naqvi, O. K. M. Ouda and K. Shahzad K, "Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries". *Bioresource Technology*, vol. 241, pp. 1101–1117, 2017