

Residuos agroindustriales en México: Una alternativa para la producción de enzimas de interés industrial

Serafín Pérez-Contreras¹; Dora, A. Avalos-de la Cruz¹; José A., Herrera-Corredor¹;
Manuel A., Lizardi-Jiménez²; Obdulia, Baltazar-Bernal¹; Ricardo, Hernández-Martínez^{3*}

¹ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km.348, Amatlán de los Reyes, Veracruz. México. C.P. 94946.

² SECIHTI-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona Sierra Leona 550, 2da. Sección, C.P. 78210. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

³ SECIHTI-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km.348, Amatlán de los Reyes, Veracruz. México. C.P. 94946.

* Autor para correspondencia: odracirhema@gmail.com

Problema

México ocupa el lugar 13 a nivel mundial en la producción de alimentos con 818 productos agroalimentarios de los cuales, 71 ocupan el primer lugar por volumen de producción. Durante la actividad agrícola y su transformación en la industria alimentaria se generan grandes cantidades de residuos agroindustriales, tales como bagazos, cáscaras, pulpa de frutas, rastrojos, paja, hojas y tallos, entrevotos. Lo anterior representa un desafío por el impacto ambiental y una oportunidad para el desarrollo económico ya que actualmente no se valorizan adecuadamente. Por un lado, la mayoría de los residuos generados en campo son quemados, mientras que los producidos durante la industrialización pueden requerir gastos adicionales para su eliminación, generando impacto negativo al medio ambiente. Además, muchos de estos residuos no se someten a tratamiento previo a su liberación en el ambiente, dando lugar a la deposición de contaminantes en los ecosistemas. La incorrecta gestión de estos residuos, al ser vertidos en suelos o incinerados, produce efectos adversos sobre el medio ambiente como el aumento de la temperatura por la liberación de gases de efecto invernadero.

Por lo anterior es necesario desarrollar estrategias para la gestión de manejo sostenible que apunten hacia la economía circular y al concepto de biorrefinería que generen otros productos de valor agregado y reduzca la liberación de efluentes contaminantes.

En México, anualmente la agroindustria azucarera genera aproximadamente 15 M de ton de bagazo; de maíz 4.4 M ton de mazorcas y 64 mil ton de hojas. En trigo se generan 650 mil ton de paja, mientras que la producción cafetalera genera 70 mil ton de cáscara

Cómo citar: Pérez-Contreras, S., Avalos-de la Cruz, D.A., Herrera-Corredor, J.A., Lizardi-Jiménez, M.A., Baltazar-Bernal, O., Hernández-Martínez, E. Residuos agroindustriales en México: Una alternativa para la producción de enzimas de interés industrial. *Agro-Divulgación*, 5(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i1.304>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Octubre, 2025.

Agro-Divulgación, 5(1), Enero-Febrero, 2025. pp: 7-11.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



plateada, 18 mil ton de cáscara en el cacao, y en el plátano hasta 619 mil ton de hojas (Figura 1). Estos residuos están compuestos de materia orgánica, además de un alto contenido de polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) que pueden ser aprovechados por ser una fuente de azúcares como la glucosa, fructosa y xilosa, entre otras. Debido a esto, pueden ser valorizados al ser utilizados por algunos microorganismos como fuente de carbono para la producción de metabolitos de interés industrial como: colorantes, compuestos aromáticos, polisacáridos, ácidos orgánicos, biocombustibles, producción de microorganismos inoculantes, entomopatógenos, y también para la producción enzimas.

SOLUCIÓN PLANTEADA

Las enzimas y preparaciones enzimáticas representaron para México, un valor comercial de USD \$184.7 millones en 2017, aumentando hasta los USD\$208.7 millones en el año 2022. El incremento en el uso de enzimas a nivel industrial puede deberse a las ventajas que presentan las reacciones de catálisis enzimática con respecto a su contraparte química, entre las que se pueden destacar: menor gasto energético, reducción de los efluentes contaminantes y debido a su especificidad, con la que se obtienen productos homogéneos. Se propone la valorización de residuos agroindustriales para la producción de enzimas de interés industrial, haciendo uso de sistemas de Fermentación Sumergida (FS) y Fermentación en Estado Sólido (FES) (Figura 2). La FS posee ventajas como permitir un fácil monitoreo de variables como la temperatura, el pH y la agitación, además, la FS es el sistema más empleado para la producción industrial de enzimas, aunque existen esfuerzos por incorporar residuos sólidos como fuente de carbono, se sigue optando por el uso de residuos solubles como melazas, suero de leche, licor negro de la industria papelera, como principales fuentes de carbono en estos sistemas.



Figura 1. Residuos agroindustriales generados en México. A) Bagazo de caña de azúcar; B) Cáscara de café; C) Mazorcas de maíz; D) Paja de trigo; E) Cáscara de cacao y F) Orujo de manzana.



Figura 2. Esquema de producción de enzimas a partir de residuos agroindustriales en fermentación sumergida y estado sólido.

Los sistemas de FES son más adecuados para la valorización de residuos sólidos, como los bagazos y rastrojos; ya que se emplean matrices sólidas que permiten el desarrollo de microorganismos. Asimismo, posee diversas ventajas en comparación a la FS como son el uso reducido de agua, mayor disponibilidad de oxígeno, además de que en algunos casos, los sustratos pueden incorporarse al sistema sin un proceso de esterilización. En la actualidad, los sistemas de FS son los más empleados para la producción de enzimas y genera expectativa en la valorización de residuos sólidos, en particular para la producción de enzimas usando cepas fúngicas (Figura 3).

Ambos sistemas de fermentación requieren de un microorganismo (y su metabolismo) y una fuente de carbono, que pueden ser los residuos agroindustriales, tales como el salvado de trigo, bagazo de caña de azúcar, orujo de oliva, orujo de manzana, tallos de maíz, bagazo de sorgo, mazorcas de maíz, paja de arroz, salvado de arroz que han sido explorados por un sinnúmero de autores (Cuadro 1) para la producción de enzimas celulasas, xilanasas, β -glucosidasas, β -manganasas, pectinasas, amilasas, lacasas, proteasas, inulinasas, lignina peroxidasas y manganeso peroxidasas, entre otras.

Estas enzimas poseen amplia variedad de aplicaciones prácticas, por ejemplo, en la industria alimentaria se utilizan para la clarificación de jugos, el ablandamiento de carnes, la producción de lácteos y para mejorar texturas y sabores. Además, encuentran aplicación en la industria textil para mejorar la suavidad de las telas, en la industria farmacéutica para la síntesis de precursores, en bioenergética para la producción de biocombustibles, en la producción de piensos para mejorar la nutrición de los alimentos, como aditivo en detergentes para facilitar la remoción de grasas y proteínas (Figura 4) entre otros.



Figura 3. Esquema de la producción de enzimas en un sistema de fermentación en estado sólido

Cuadro 1. Ejemplos de investigaciones enfocadas en la producción de enzimas a partir de residuos agroindustriales; FES: Fermentación en estado sólido, FS: Fermentación sumergida.

Residuo agroindustrial	Sistema de producción	Grupo enzimático	Microorganismo
Paja de arroz	FES y FS	Celulasas	<i>A. niger</i> y <i>A. heteromorphus</i>
Mazorcas de maíz	FES	Xilanasas	<i>A. niger</i>
Salvado de trigo	FS	Xilanasas	<i>T. harzianum</i>
Salvado de trigo	FES y FS	Amilasas	<i>A. tamarii</i>
Bagazo (caña, salvado de arroz, salvado de trigo, paja de trigo, mazorcas de maíz, cáscaras de cacahuete)	FES	Lacasas	<i>niger</i>
Paja de trigo, cáscara de granada y cáscara de tangerina	FS	Pectinadasas y Celulasas	<i>Mucor circinelloides</i> y <i>M. hiemalis</i>
Salvado de trigo	FS	Proteasas	<i>Streptomyces</i> sp.
Salvado de trigo	FES	Proteasas	<i>Aspergillus</i> sp.
Orujo de manzana	FES	Inulinasa	<i>Mucor circinelloides</i>
Hojas de piña	FES	Lignina y manganeso peroxidadas	<i>Ganoderma lucidum</i>
Bagazo de caña y salvado de trigo	FES	β -glucosidase	<i>T. reesei</i> y <i>Thermoascus aurantiacus</i>

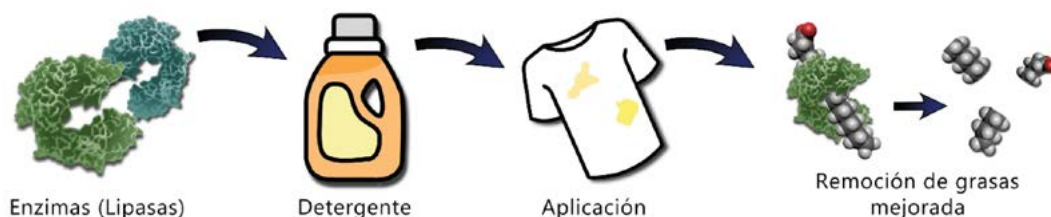


Figura 4. Ejemplo de una aplicación cotidiana de las enzimas.

El uso de enzimas en México está centrado en la industria alimentaria, y de acuerdo con la Secretaría de Economía, el comercio de enzimas en México fue de 209 millones de dólares en el año 2023, pero la balanza comercial para este mismo año fue deficitaria en alrededor de 100 millones de dólares, ya que se importaron enzimas procedentes de Dinamarca, Estados Unidos y China. Adicionalmente, uno de los principales productores de enzimas en México (ENMEX) fue adquirido por Kerry Group en 2021. En este sentido, México podría incrementar la producción de enzimas y preparaciones enzimáticas, haciendo uso de residuos agroindustriales que promueven la economía circular, en donde los subproductos obtenidos de un proceso pueden aprovecharse como materia prima para obtener un nuevo producto con valor añadido. El uso de estos subproductos también puede contribuir a la sostenibilidad ambiental, ya que el aprovechamiento de residuos sólidos ayuda a disminuir la cantidad de desechos orgánicos enviados a vertederos y/o destinados a su combustión.

Innovaciones, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Asociaciones de Productores Productores independientes Comunidades Agrarias	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social Económico Ambiental Conocimiento	Ciencia y Tecnología Económico Responsabilidad Ambiental	Competitividad Comercio Finanzas Públicas	Número de familias beneficiadas Empresas formadas Transferencias tecnológicas Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico
Procesos	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro.	Poblaciones en particular	Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)				
Modelo de negocio	Creación o reinversión de un negocio		Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)				
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible						

