

Cascarilla de arroz, un residuo agrícola sin ser aprovechado en México

Víctor Eduardo Ojeda-Rodríguez ¹, Beatriz Escobar-Morales ², Juan Manuel Méndez-Contreras ¹, Norma Alejandra Vallejo-Cantú ¹, Alejandro Alvarado-Lassman ¹, Erik Samuel Rosas-Mendoza ^{1,*}

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz C.P.94320, México.

² CONAHCYT, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Carretera Sierra Papacal – Chuburná Puerto, Km 5, Sierra Papacal, Yucatán, México.

* Autor de correspondencia: erik.rm@orizaba.tecnm.mx; Tel.: +52 272 101 09 98

Artículo de divulgación científica

Recibido: 31 de octubre de 2024

Aceptado: 9 de noviembre de 2024

Publicado: 26 de noviembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.319>

Resumen: Las actividades agrícolas generan grandes cantidades de residuos y dependiendo de su composición química es el nivel de impacto que pueden provocar, por ejemplo, los residuos orgánicos contribuyen a la generación de gases contaminante. Hablando específicamente de la cascarilla de arroz, presenta una limitante la cual es su elevado contenido de sílice, sin embargo, a su vez es un área de oportunidad para ser aprovechada. El objetivo del presente trabajo es demostrar las distintas aplicaciones que tiene la cascarilla de arroz para su aprovechamiento. Debido a su composición química, la cascarilla de arroz puede someterse a diferentes procesos, uno de ellos es la carbonización hidrotérmica. Mediante este proceso se produce hidrochar, agua de proceso y gas de síntesis, estos productos tienen distintas aplicaciones, de las cuales, una de ellas es su uso como bioenergéticos. Un parámetro que evaluar entre los productos de la carbonización es el poder calorífico. El poder calorífico que contiene el hidrochar es superior al del agua de proceso. De esta manera, un residuo puede tener una aplicación sostenible y adquiere un valor agregado junto con un beneficio ambiental, debido a que se aprovecha un residuo y a su vez, se sustituyen combustibles provenientes de productos fósiles.

Palabras clave: cascarilla de arroz; carbonización hidrotérmica; hidrochar; biocombustible; material absorbente.

Introducción

Se conoce como residuo agrícola cualquier componente “inservible” generado a partir de la cosecha de productos finales, estos residuos son la cascarilla, hojas, raíces, tallos, etc. En la Figura 1 se observan algunos ejemplos de residuos agrícolas secos. Hablando de la situación agrícola en México, debido a la extensión territorial, recursos naturales y prácticas agrícolas, el país se posiciona a nivel mundial en el lugar número once como productor de cultivos agrícolas (SIAP, 2024).



Figura 1. Residuos agrícolas secos: a) caña de azúcar, b) cascarilla de arroz, c) rastrojo de maíz, d) corteza de árboles y e) paja de trigo.

El consumo de granos es de vital importancia en la alimentación diaria a nivel mundial y nacional debido a su contenido energético y nutricional. Por ello, en la Tabla 1 se muestran los principales cultivos que generaron residuos agrícolas en México durante el 2023. Estos cultivos corresponden a los granos más consumidos en el país.

Tabla 1. Principales cultivos en México durante el 2023 (SIAP, 2024).

Cultivo	Maíz	Sorgo	Trigo	Frijol	Arroz
Producción (millones de toneladas)	27.54	4.81	3.4	0.72	0.25

Tan sólo el año 2023, México cerró su reporte anual de producción agrícola en la modalidad de riego y temporal en una cantidad superior a los 385 millones de toneladas de cultivos agrícolas (SIAP, 2024), considerando desde cereales, legumbres, frutas y verduras. Por consiguiente, anualmente se generan alrededor de 45 millones de toneladas de

residuos secos en el país (SAGARPA, 2015). Hablando ahora a nivel mundial, cada año se producen alrededor de 140 mil millones de toneladas de residuos agrícolas (Nwajiaku *et al.*, 2018). Cabe resaltar que, el destino de los residuos agrícolas depende de sus características físicas y químicas que los constituyen. En la Figura 2, se observa la producción agrícola del arroz, mostrando la generación de productos y subproductos al igual que el destino que estos tienen.

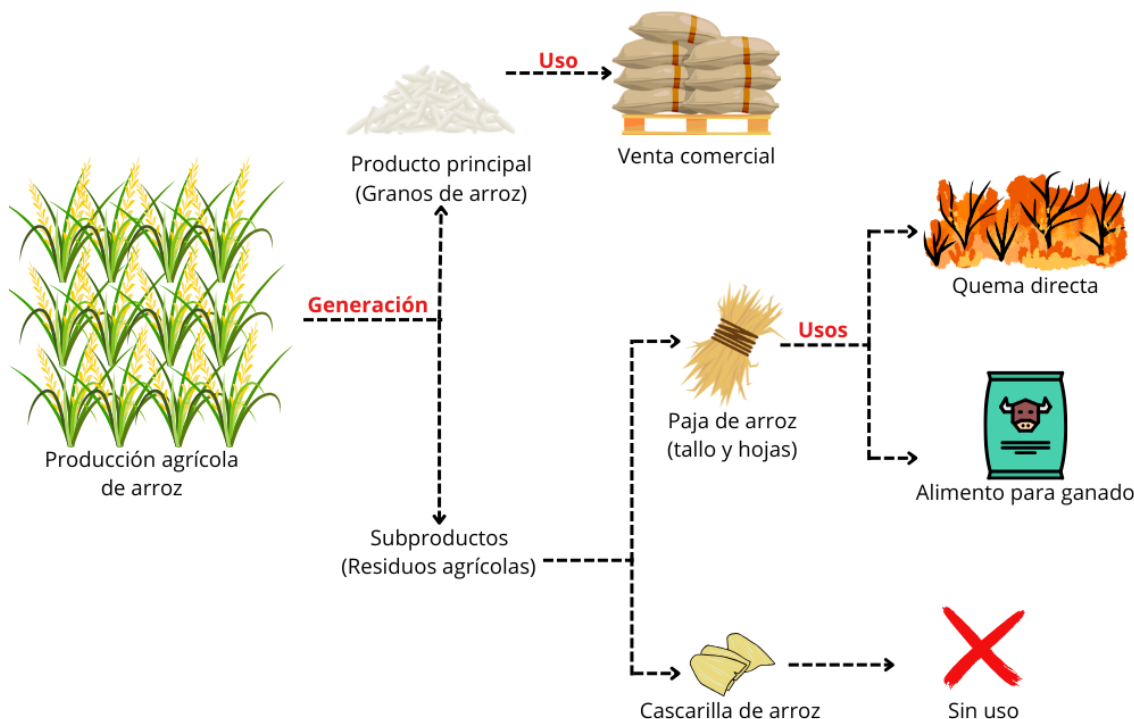


Figura 2. Generación de productos y sus usos, a través de la producción agrícola del arroz.

El producto principal (granos de arroz) tiene como objetivo ser destinado a venta directa o ser materia prima de un proceso, sin embargo, los subproductos presentan un reto ya que no son de interés para los comercializadores de los productos agrícolas. La cascarilla de arroz no es aprovechada debido al contenido de sílice (SiO_2), ya que imposibilita que tenga los mismos usos que la paja de arroz. En cambio, los usos de la paja de arroz se describen a continuación:

- *Quema directa*. Es la forma más eficaz y rentable de limpiar tierras, fertilizarlas y prepararlas para una nueva plantación (ONU, 2020). Sin embargo, esto ocasiona problemas ambientales severos hacia la atmósfera propiciando al calentamiento global debido a la generación de gases contaminantes.

- *Alimento para ganado*. Recurso importante en las épocas en donde se escasean los alimentos tradicionales, se presenta cada año durante el invierno y periodos de sequías. Además, comparando la paja de arroz con los productos de la Tabla 1, los principales residuos agrícolas empleados para este fin son el rastrojo y olote de maíz, al igual que las pajas de sorgo y de trigo (SAGARPA, 2015).

De los cinco cultivos mencionados en la Tabla 1, no se contempla el residuo generado por la producción de frijol y arroz, sin embargo, por lo regular estos residuos (paja de frijol y paja de arroz) pueden ser quemados directamente. Ahora bien, se conoce que la producción mundial de arroz es de 769.9 millones de toneladas (FAO, 2018). El arroz puede ser cultivado en diferentes tipos de suelos, entre los cuales se encuentran las tierras grises, negras y lateríticas (SIAP, 2023). La principal exigencia a los terrenos ocupados para la cosecha del arroz es el alto contenido orgánico y la elevada capacidad de retención de agua. De la Figura 2, el subproducto que no tiene usos es la cascarilla de arroz, del cual se estima que la producción mundial es aproximadamente de 140 millones de toneladas (Li *et al.*, 2021). La cascarilla de arroz tiene dos funciones en el grano, la primera es empleada como protector mecánico del grano y la segunda es prevenir la pérdida de agua del grano (Kordi *et al.*, 2023). Debido a su composición química conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina, la cascarilla de arroz es considerada un residuo lignocelulósico (Kordi *et al.*, 2023). En la Figura 3, se pueden ver los componentes del arroz palay; arroz aún con cascarilla. La cascarilla de arroz se produce como

subproducto de los molinos de arroz que separan el grano de la cascara (Bazuhair *et al.*, 2023), dicho subproducto, representa entre el 20 y 23 % del peso total del grano (Nwajiaku *et al.*, 2018).

La cascarrilla de arroz es una mezcla de aproximadamente 80 % de compuestos orgánicos y 20 % de compuestos inorgánicos (Abe *et al.*, 2023), los compuestos inorgánicos son aquellos minerales presentes en forma de óxido a partir de magnesio, sodio, hierro y silicio, por mencionar algunos. Sin embargo, la cascarrilla de arroz presenta una característica única en su tipo a diferencia de cualquier otro residuo agrícola seco, esta es su alto contenido de sílice (SiO_2) (Abe *et al.*, 2023), el cual se encuentra entre un 87 y 97 % de todo el contenido inorgánico presente en la cascarrilla de arroz (Nzereogu *et al.*, 2023). El contenido de sílice es una limitante para gestionar adecuadamente este tipo de residuo agrícola, ya que incluso tiene alta resistencia al fuego y tampoco pueden digerirlo los animales. Sin embargo, el contenido de sílice genera áreas de oportunidad, por ejemplo: mediante la aplicación de procesos termoquímicos para obtener un producto carbonoso, el cual puede emplearse como mejorador de suelos, biocombustible y/o material adsorbente. Actualmente, existen procesos para la transformación de residuos y de esta forma otorgarles un valor agregado. Por lo cual, el objetivo de este trabajo es analizar las distintas aplicaciones que tiene la cascarrilla de arroz para su aprovechamiento y poder darle un plan de gestión con el que en México aún no se cuenta.

Desarrollo

Procesos de valorización de residuos agrícolas

Existen diferentes procesos para la transformación de residuos agrícolas, sin embargo, lo que permite la selección de alguno de los procesos son las características físicas y químicas del residuo, junto con la aplicación requerida y el recurso económico con el que se cuente. La Tabla 2 muestra los diferentes procesos y bajo qué residuo puede operar cualquiera de ellos para su conversión en productos valorizables económicamente y con beneficios para el medio ambiente.

Tabla 2. Procesos para la valorización de residuos agrícola de diferente tipo.

Tipo de tratamiento	Proceso	Residuo para tratar	Productos obtenidos valorizados
Biológico	Fermentación	Residuos orgánicos	Bioetanol y biogás
	Digestión anaerobia	Residuos orgánicos	Biogás
Químico	Hidrólisis ácida	Residuos lignocelulósicos	Endulzantes
Térmico	Calcinación	Residuos lignocelulósicos y orgánicos	Cenizas ricas en minerales
Termoquímico	Gasificación	Residuos lignocelulósicos	Biogás y biocarbón
	Pirólisis	Residuos lignocelulósicos	Biochar, aceites y biogás
	Carbonización	Residuos lignocelulósicos y orgánicos	Hidrochar, agua de proceso/bioaceite
	hidrotérmica		y gas de síntesis/ biogás

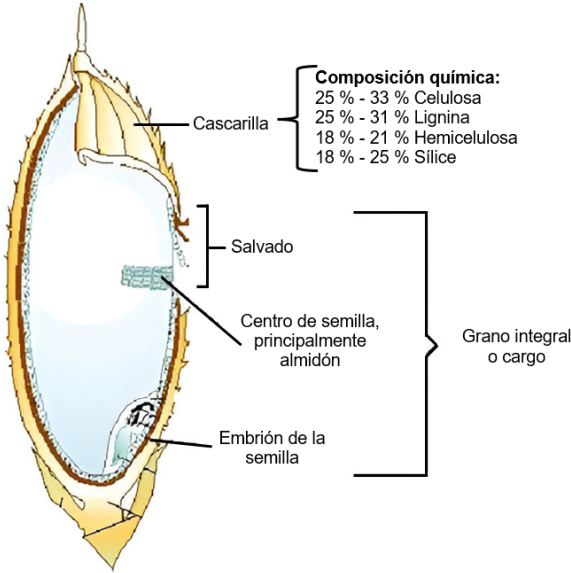


Figura 3. Componentes del arroz palay (Kordi *et al.*, 2023).

Dentro de los procesos termoquímicos, a pesar de que los tres producen un producto carbonoso, su diferencia persiste en los rangos de temperatura en los que opera. La gasificación requiere de temperaturas entre 800 y 1 000 °C, la pirólisis opera entre los rangos de 350 y 700 °C, sin embargo, la carbonización hidrotérmica es considerable un proceso eco-amigable ya que sus trabaja ente 180 y 250 °C, siendo el rango de temperatura más baja para la obtención de un producto carbonoso. Debido a que la gasificación requiere de un alto consumo energético para que el proceso se lleve a cabo, sólo se mencionaran las diferencias entre los productos carbonosos de la pirolisis y la carbonización hidrotérmica. La apariencia del carbón igual es importante, para el producto de la carbonización hidrotérmica se le llama hidrochar debido a que es un carbón húmedo, sin embargo, para el producto correspondiente a pirólisis se denomina biochar debido a que el producto no contiene humedad. Por otro lado, la temperatura y el tiempo a la cual se lleva a cabo la transformación química influye en las características de estos productos, se conoce que, a mayor temperatura y tiempo de reacción, mejor será su área superficial, lo cual mejora el carbón como material absorbente. Sin embargo, en este trabajo se enfocarán en la carbonización hidrotérmica, debido a que sus aplicaciones son muy similares a las del biochar. Esto se hace con el fin de demostrar que, a pesar de que se disminuye el consumo energético, se logra tener aplicaciones mediante el proceso de carbonización hidrotérmica.

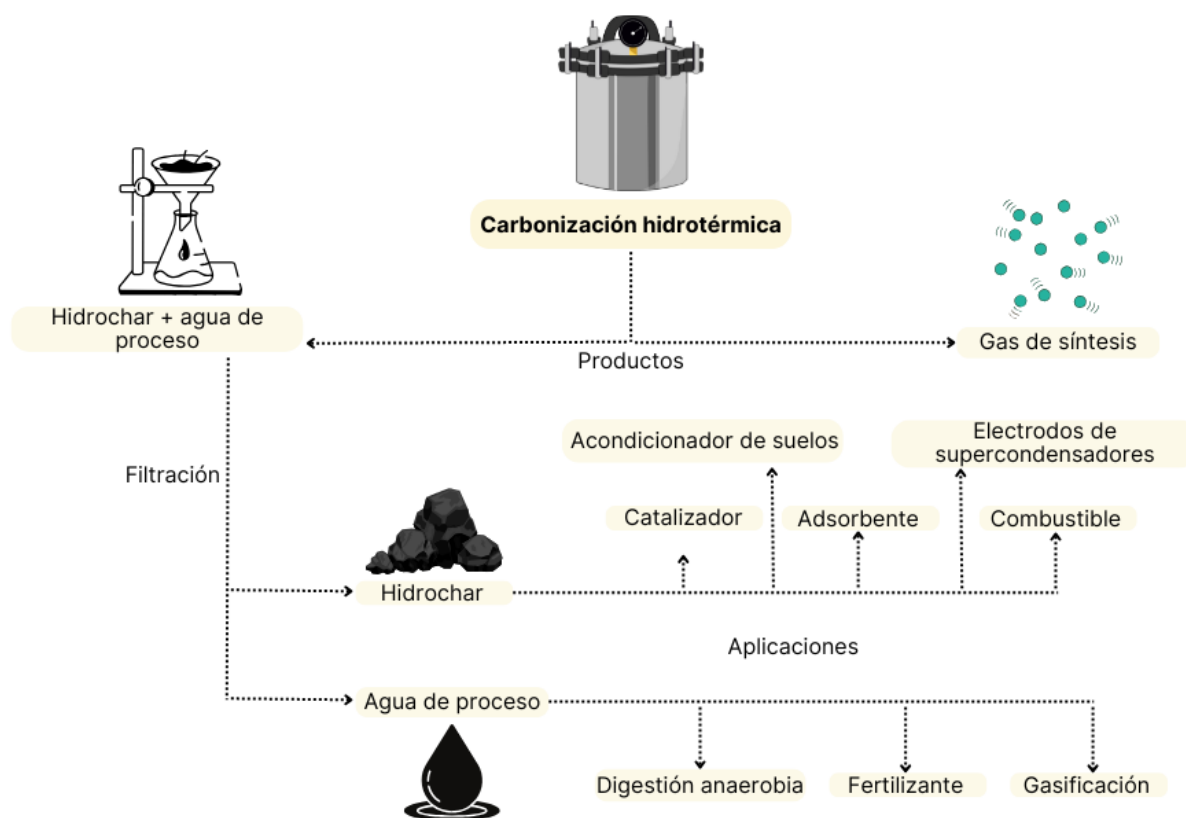


Figura 4. Productos de la carbonización hidrotérmica y sus aplicaciones correspondientes.

Proceso de carbonización hidrotérmica

La carbonización hidrotérmica requiere de condiciones de operación elementales (temperatura, tiempo del proceso y contenido de humedad) para poder someter cualquier material al proceso, una de las más importantes es procesar materia con un alto contenido de humedad (superior al 75 %) (Abe *et al.*, 2023). La presencia de un alto contenido de humedad asegura la obtención de los productos de interés, como hidrochar, agua de proceso y gas de síntesis. De igual manera, los parámetros de operación únicamente se basan en la temperatura y el tiempo de reacción. No se puede controlar la presión debido a que es autógena, presión generada por el mismo reactor. En la Figura 4; se observan los productos que se derivan del proceso de carbonización hidrotérmica y los usos que cada uno de estos productos tiene.

El producto final de los procesos termoquímicos (carbonización hidrotérmica, pirólisis y calcinación) tiene una aplicación en particular y ésta depende de las características que el proceso le haya conferido. A continuación, se presentan las aplicaciones de los productos que se pueden obtener a partir de la cascarilla de arroz mediante

carbonización hidrotérmica, pirólisis y calcinación, ya que en México actualmente no se cuenta con una buena gestión para este residuo:

Aplicación 1: Mejorador y nutrición de suelos

- Cenizas. La obtención de las cenizas puede ser mediante calcinación o combustión, siendo la combustión un proceso caro por el alto consumo energético. Por otra parte, las cenizas contienen toda la materia inorgánica presente en el producto, estas cenizas son de vital importancia para la nutrición de suelos, debido a que contienen minerales, los cuales son el potasio, sodio, magnesio, aluminio, calcio y silicio. Dichos minerales son benéficos para el crecimiento y desarrollo de plantas o de cultivos.
- Hidrochar. Mejora la retención de agua en la tierra junto con la capacidad de intercambio catiónico, este parámetro está relacionado con la fertilidad del suelo.

Aplicación 2: Material adsorbente

- Hidrochar. El mayor porcentaje de sílice del contenido del total de la cascarilla de arroz se queda en el hidrochar, esto le proporciona una capacidad de poder adsorber solventes orgánicos y metales presentes en agua. Sin embargo, entre mayor sea la temperatura de reacción para la obtención del hidrochar, mejor será el área superficial, lo que le otorga una mayor adsorción. En algunos casos, para que tenga una mejor capacidad de adsorción, se recomienda activar el carbón (hidrochar) mediante otro proceso, el cual sería un proceso químico.
- Biochar. Genera el mismo comportamiento en cuanto al sílice en el hidrochar. Por otro lado, debido a que el proceso de producción requiere de temperaturas más altas, el biochar es mejor adsorbente, debido a que su área superficial es mayor. En otras palabras, su porosidad es mejor y permite la absorción de dichos metales pesados en aguas.

Aplicación 3: Biocombustible

- Hidrochar. El poder calorífico es quien le da la propiedad de ser utilizado como biocombustible. Se conoce que entre mayor sea la temperatura de reacción, mayor será el poder calorífico contenido el hidrochar. Esta aplicación actualmente está en investigación, para conocer en qué condiciones de reacción se puede tener un mayor rendimiento y un buen poder calorífico, siendo comparado con otros combustibles.
- Biochar. El poder calorífico de este producto es mayor que el del hidrochar, por lo cual es denominado un mejor biocombustible.

Empleando este tipo de biocombustible, se puede sustituir combustibles de origen fósiles o provenientes de la madera, los cuales, afectan el ecosistema del cual es extraído y propician al calentamiento global por su uso excesivo en actividades diarias.

Aplicación 4: Aditivo en cemento

- Cenizas. Debido al alto contenido de sílice dentro de la composición inorgánica de la cascarilla, este puede transferir sus propiedades debido a que es un mineral (Si) que se encuentra presente en las piedras. Este estudio sigue en investigación debido a que la sílice puede tener un acomodo estructural diferente a la hora de ser procesado, lo cual cambia un poco sus propiedades físicas.

Aplicación 5: Elaboración de supercondensadores

- Hidrochar. El producto tiene un acomodo específico de las moléculas de carbono, ese acomodo permite que el producto pueda ser empleado para la fabricación de supercondensadores a partir de carbono, los supercondensadores permiten el almacenamiento de energía eléctrica.

Conclusión

La cascarilla de arroz es un residuo agrícola que para su aprovechamiento puede ser sometido a procesos térmicos y termoquímicos debido a su composición química. Mediante el análisis de los procesos termoquímicos como pirólisis y carbonización hidrotérmica, los productos que se obtienen de la cascarilla de arroz, biochar e hidrochar, respectivamente; pueden ser aplicados como mejoradores y nutrición de suelos, materiales adsorbentes, biocombustibles y materiales para la fabricación de supercondensadores. A su vez, las diversas aplicaciones de los biocarbones dependen del proceso termoquímico empleado y de las condiciones de operación. Esto es: si se busca emplear el producto (biochar y hidrochar) como biocombustible, es recomendable el uso de pirólisis debido a que el biochar adquiere un mayor poder calorífico. En cambio, si se busca mejorar y nutrir un suelo, la carbonización hidrotérmica es el proceso ideal, ya que el hidrochar mejorará la concentración de calcio, magnesio, potasio, silicio, la retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico. Los futuros usos de la cascarilla de arroz como biomasa para diferentes aplicaciones también dependen de los costos operativos de los procesos termoquímicos empleados, siendo una biomasa prometedora para remplazar el uso excesivo de combustibles de origen fósil.

Bibliografía

- Abe H., Nakayasu Y., Haga K. & Watanabe M. (2023). *Progress on Separation and Hydrothermal Carbonization of Rice Husk Toward Environmental Applications*. Global Challenges, 7(2300112), <https://doi.org/10.1002/gch2.202300112>.
- Bazuhair R.W. (2023). Laboratory evaluation of the effect of rice husk fiber on soil properties and behaviors. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 14, 166-171, <https://doi.org/10.1007/s43995-023-00027-z>.
- FAO. (2018). *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO*. Volumen XXI. Edición No. 1. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bc924559-19a2-43be-bf02-d5db81744a19/content>.
- Kordi M., Farrokhi N., Pech-Canul M.I. y Ahmadikhah A. (2023). Rice Husk at a Glance : From Agro-Industrial to Modern Applications. *Rice Science*, 31 (1), 14-32, <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005>.
- Li Y., Hagos F.M., Chen R., Qian H., Mo C., Di J., Gai X., Yang R., Pan G. y Shan S. (2021). Rice husk hydrochars from metal chloride-assisted hydrothermal carbonization as biosorbents of organics from aqueous solution. *Bioresources and Bioprocessing*, 8 (99), <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00451-w>.
- Nwajiaku I.M., Olanrewaju J.S. Sato K., Tokunari T., Kitano S. y Masunaga T. (2018). Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, (7), 269-276, <https://doi.org/10.1007/s40093-0180213-y>.
- Nzereogu P.U., Omah A.D., Ezema F.I., Iwuoha E.I. y Nwanya A.C. (2023). Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. *Hybrid Advances*. 4 :100111 <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100111>.
- ONU. (2020). *El impacto de las quemaduras agrícolas: un problema de calidad del aire*. Programa para el medio ambiente. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-impacto-de-las-quemas-agricolas-un-problema-de-calidad-del-aire>.
- SAGARPA (2015). *Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas. Primera etapa: Diagnóstico nacional*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346978/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf.
- SIAP. (2024). *Panorama agroalimentario. La ruta de la transformación agroalimentaria 2018-2024*. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvi/view.
- SIAP. (2023). *Monografías de productos agroalimentarios mexicanos. Arroz palay*. <https://www.gob.mx/siap/documentos/monografias>.