



# Rivar

REVISTA IBEROAMERICANA DE  
VITICULTURA, AGROINDUSTRIA  
Y RURALIDAD

Editada por el Instituto  
de Estudios Avanzados de la  
Universidad de Santiago de Chile

## APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DEL MAÍZ (*ZEA MAYS*) EN LA INDUSTRIA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



*Use of maize (Zea mays) residues in the industry:  
bibliographical review*

*Aproveitamento de resíduos del milho (Zea mays) na  
indústria: Revisão bibliográfica*

**Vol. 11, N° 31, 212-229, enero 2024**

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.35588/rivar.v10i31.5980>

**María Alexandra Soto Velásquez**

Universidad Técnica de Ambato e  
Instituto Superior Tecnológico Tsachila  
Santo Domingo, Ecuador

**ORCID** 0000-0002-6196-6920  
[mariasoto@tsachila.edu.ec](mailto:mariasoto@tsachila.edu.ec)

### Recibido

22 de febrero de 2023

### Aceptado

15 de mayo de 2023

### Publicado

Enero de 2024

### Cómo citar

Soto Velásquez, M.A. (2024). Aprovechamiento de residuos del maíz (*zea mays*) en la industria: Revisión bibliográfica. *RIVAR*, 11(31), 212-229, <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i31.5980>

## ABSTRACT

The use of organic waste is a strategy that has gained impact in favor of the environment, especially among agro-industrial companies. Waste from the food industry contains structural components, such as lignocellulose, which can be used in different areas. In this sense, this work is a qualitative systematic review of research based on diverse databases in which the use of corn residues is sought. For greater specificity in the search for information, the Boolean AND operator was used and key terms, prioritizing research carried out between 2018 and 2023. Through the bibliographic analysis, eight areas were identified in which corn residues are used: bioremediation, feeding, energy, lignocellulose splitting, biopolymers, characterization, and construction. Of these, most investigations refer to bioremediation (30.58%). In addition, of the residues used, the one with the greatest utility is stubble (44.44%), followed using stems (16.67%) and rachis (16.67%). Regarding agribusiness, the use of corn residues poses a promising future, with emphasis on the production of paper packaging, biopolymers, and food additives.

### KEYWORDS

agroindustry, environment, biomass, resource management, recycling.

## RESUMEN

La utilización de residuos orgánicos es una estrategia que ha ganado impacto en favor del ambiente, en especial entre las empresas agroindustriales. Los residuos procedentes de la industria alimentaria contienen componentes estructurales, como la lignocelulosa, que pueden ser aprovechados en diversas áreas. En este sentido, este trabajo es una revisión sistemática cualitativa acerca de investigaciones que reposan en las diversas bases de datos en las que se busque el aprovechamiento de los residuos del maíz. Para mayor especificidad en la búsqueda de información se utilizó el operador booleano AND y términos clave, priorizando las investigaciones desarrolladas entre el 2018 y 2023. Mediante un análisis bibliográfico fueron identificadas ocho áreas en las que aprovechan los residuos del maíz: biorremediación, alimentación, energía, desdoblamiento de lignocelulosa, biopolímeros, caracterización y construcción, en tanto la mayoría de las investigaciones refiere a biorremediación (30,58%). Además, de los residuos aprovechados el que mayor utilidad presenta es el rastrojo (44,44%), seguido por el uso de tallos (16,67%) y raquis (16,67%). En cuanto a la agroindustria, el uso de residuos del maíz plantea un futuro prometedor, con énfasis en la producción de envases de papel, biopolímeros y aditivos alimentarios.

### PALABRAS CLAVE

agroindustria, ambiente, biomasa, gestión de recursos, reciclaje.

## RESUMO

O uso de resíduos orgânicos é uma estratégia que tem ganhado impacto em favor do ambiente, em especial entre as empresas agroindustriais. Os resíduos procedentes da indústria alimentária contém componentes estruturais, como a lignocelulosa, que podem ser aproveitados em diversas áreas. Neste sentido, este trabalho é uma revisão sistemática qualitativa de investigações que reposam nas diversas bases de dados nas que se procure o aproveitamento dos resíduos de milho. Para maior especificidade na procura de informação utilizou-se o operador booleano AND e palavras-chave, priorizando as investigações desenvolvidas entre os anos 2018 e 2023. Mediante um análise bibliográfico foram identificadas oito áreas nas que se aproveitam os resíduos do milho: biorremediação, alimentação, energia, desbrochado de lignocelulosa, biopolímeros, caracterização e construção, em quanto a maioria das investigações refere à biorremediação (30,58%). Além disso, dos resíduos aproveitados o que maior utilidade apresenta é o restolho (44,44%), seguido pelo uso de troncos (16,67%) e raque (16,67%). Em relação à agroindustria, o uso de resíduos do milho apresenta um futuro prometedor, com ênfase na produção de embalagens de papel, biopolímeros e aditivos alimentários.

### PALAVRAS-CHAVE

agroindústria, ambiente, biomassa, gestão de recursos, reciclagem.

## Introducción

Pese al avance tecnológico en industrias manufactureras, lamentablemente el mundo de hoy no es sostenible ni resiliente, no es equitativo para la humanidad. En este sentido las industrias, entre ellas la alimentaria, deben recordar que los recursos que se explotan son finitos. El último siglo trajo consigo un cambio de paradigma en cuanto a la fabricación de alimentos; actualmente la industria alimentaria se enfrenta al desafío no solo de entregar a la población alimentos inocuos y funcionales. Además, es preciso frente al crecimiento acelerado de los mercados que han obligado a la agroindustria a implementar estrategias de producción más limpia (P+L), con el objetivo de mantenerse competitivos en mercados donde las acciones de cuidado ambiental son cada vez más importantes (Espinoza et al., 2021).

En la industria alimentaria uno de los principales problemas es el manejo de los residuos, entre ellos los de origen orgánico, los cuales causan contaminación visual y la atracción de plagas, además de obvias pérdidas económicas para la empresa. Entre las estrategias de P+L implementadas en la agroindustria se encuentran el reciclaje interno como estrategia de minimización y el reciclaje externo como estrategia de valorización; en ambos casos se plantea el uso de residuos como materias primas para la elaboración de subproductos importantes (Espinoza et al., 2021). Luo et al. (2022) mencionan que el campo de aprovechamiento de residuos alimentarios es amplio, pudiendo ser usados como biocombustibles, materias primas para elaboración de alimentos, consumo humano o piensos alimenticios, sustitutos de camas (porcinos y aves), abono, bioplástico, entre otros de interés. Aún así, el reciclaje de estos residuos es mínimo.

En Ecuador, el maíz es uno de los cultivos más importantes para la agroindustria y para el sector económico del país. En 2021 se reportó una producción aproximada de 1,38 millones de toneladas provenientes de una superficie sembrada de 355.000 hectáreas (Zambrano y Caviedes, 2022). El cereal es aprovechado para la elaboración de piensos alimenticios y también se usa como fuente de carbohidratos en la dieta humana. Incluso cuando el uso de sus granos es variado, actualmente no se le da un valor agregado a los residuos (raquis, hojas y tallos) de la cosecha, en tanto dichos residuos generalmente son quemados a cielo abierto, lo que genera emisiones y por consiguiente se produce degradación ambiental, procesos de erosión y pérdida de nutrientes del suelo. La recuperación del suelo involucra costos ambientales que perjudican a los productores o en muchas ocasiones no se realizan por su elevado valor económico (Zahoor et al., 2021).

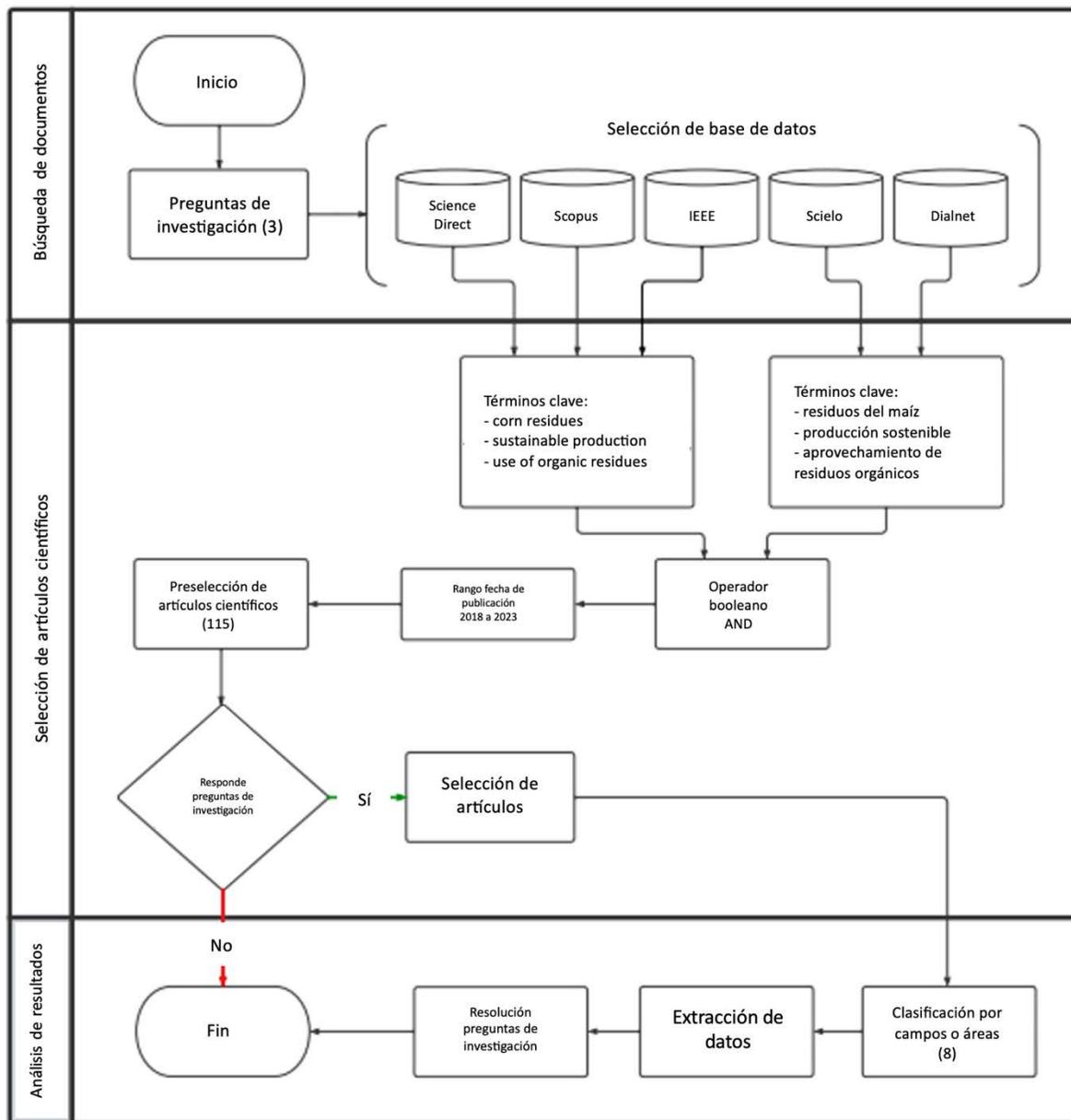
En relación a lo expuesto, el objetivo de esta investigación es analizar cuáles son los principales usos que se le da a los residuos del maíz y la posibilidad de utilizarlos en la industria de alimentos para identificación de posibles soluciones sostenibles a la contaminación que generan los cultivos de maíz en Ecuador.

## Metodología

El artículo presentado se desarrolló siguiendo el método de revisión bibliográfica cualitativa propuesta por Espinoza et al. (2021). Se realizó una búsqueda de publicaciones científicas que posteriormente fueron evaluadas de acuerdo con el grado de relación que presentaban con las tres preguntas planteadas para la investigación (Figura 1). La primer interrogante

que se presentó fue ¿cuáles son los principales campos de investigación que aprovechan los residuos orgánicos procedentes del maíz? La segunda, ¿cuál es el residuo del maíz con mayor índice de aprovechamiento? y por último, ¿cuál es el futuro de los residuos del maíz en la industria, especialmente en la agroindustria?

**Figura 1.** Proceso de la revisión bibliográfica sistemática cualitativa  
*Figure 1. Qualitative systematic literature review process*



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La búsqueda de información se realizó en bases de datos, utilizando términos clave como residuos del maíz, producción sostenible y aprovechamiento de residuos orgánicos. Las búsquedas se realizaron en español en Dialnet y Scielo. Para la revisión en las bases de datos ScienceDirect, Scopus e Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) los términos

se tradujeron a inglés, y a fin de aumentar la especificidad de la investigación se utilizó AND como operador booleano. Para la preselección de artículos se priorizó las investigaciones experimentales y de aplicación que fueron publicados en revistas científicas con el aval de pares académicos desde el año 2018 al 2023. En total se analizaron 115 artículos de las bases de datos ScienceDirect (59 artículos), Scopus (27 artículos), Dialnet (15 artículos), Scielo (10 artículos) e Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (4 artículos) de los cuales solo se seleccionaron 36 publicaciones que cumplieran con los criterios de búsqueda para el análisis de aprovechamiento de residuos orgánicos de la cosecha de maíz.

Referente al proceso de selección, se realizó un análisis de cada uno de los artículos considerando primero el título, el resumen y su relación con el tema e interrogantes de investigación. Cuando la relación era favorable se procedía a la lectura de la introducción y las conclusiones, si estas eran relevantes y congruentes se almacenaban los artículos para un posterior análisis y resumen.

## Resultados

### *Uso de residuos del maíz como fuente energética en la industria manufacturera*

Las principales fuentes energéticas de la mayoría de países desarrollados y en vías de desarrollo provienen de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y el gas natural. Los mismos son insostenibles y emiten gases de efecto invernadero durante el proceso de consumo. Con la disminución de la reserva de combustibles fósiles y la creciente preocupación por el ambiente, la exploración de combustibles sostenibles a partir de la agrobiomasa ha ganado cada vez más atención (Luo et al., 2022).

La biomasa lignocelulósica es un recurso renovable distribuido globalmente, ampliamente disponible y rentable para biocombustibles y otros productos químicos. También reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles (Amer et al., 2021). Así, la investigación realizada por Vinueza (2020) muestra que los residuos del maíz poseen gran cantidad de fibra (24%), compuesta principalmente por lignocelulosa. La lignocelulosa se compone de tres polímeros estructurales principales que incluyen polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) y no polisacáridos (lignina), y también contiene sustancias menores como pectina, proteína, almidón y cenizas.

Al respecto, Zahoor et al. (2021) manifiestan que para poder utilizar la lignocelulosa como biocombustible primero se requiere de un proceso de bioconversión, el cual generalmente requiere tres pasos secuenciales clave: pretratamientos físicos y químicos para superar la recalcitrancia lignocelulósica al principio; hidrólisis enzimática posterior para liberar azúcar fermentable, y fermentación microbiana final para la producción de biocombustibles o bioquímicos. El pretratamiento alcalino, especialmente el método de hidróxido de sodio (NaOH), ha sido considerado como una tecnología económica y efectiva debido a su condición leve y alta de remoción de lignina. Sin embargo, el consumo de una gran cantidad de agua y la generación de aguas residuales son dos cuellos de botella importantes para su aplicación industrial (You et al., 2019).

En este contexto, Zahoor et al. (2021) han desarrollado procesos de ahorro de agua para disminuir la generación de aguas residuales. Utilizaron KOH (al 3%) combinado con urea para

pretratar la lignocelulosa proveniente de los rastrojos de maíz con rendimientos de hasta 83,1% de glucosa. Sin embargo, aún persisten las complicaciones ambientales debido al uso de KOH; en su investigación, el reciclaje de Urea/KOH fue insuficiente para utilizarse como fertilizante.

Por otra parte, el pretratamiento hidrotérmico (HTP) de la biomasa lignocelulósica puede mejorar el rendimiento en la digestión de lignocelulosa del raquis del maíz. Los resultados ilustraron que el HTP tiene un cierto efecto destructor sobre la estructura de la lignocelulosa en raquis de maíz. Además, el HTP acelera el enriquecimiento de bacterias acidogénicas e hidrolizantes, lo cual optimiza la digestión de la lignocelulosa de la mazorca de maíz (Gao et al., 2021).

Al respecto, You et al. (2019) mencionan en su investigación que el rastrojo de maíz ofrece un amplio potencial de producción de bioenergía y biomateriales a través de la biorrefinería, y por lo tanto es útil para la producción de biogás. Coinciden con Zahoor et al (2021) en que el mejor pretratamiento para la digestión de lignocelulosa es con NaOH e igualmente coinciden en que, pese a los beneficios de la producción de biocombustible, el uso excesivo de NaOH no es sostenible para el ambiente. You et al. (2019) investigaron el efecto del pretratamiento de CaO/NaOH asistido por ultrasonido en las propiedades del rastrojo de maíz; los resultados indicaron que este método mejora la conversión de lignina al 60%. Además, la relación costo-beneficio de este pretratamiento se estimó en \$1,39 - \$1,65, lo que sugiere que la combinación de ultrasonido y la adición de CaO deberían resultar en una mayor conversión de lignina y, por lo tanto, mejorar la rentabilidad de la producción de biogás.

Por su parte, una investigación desarrollada en Jordania muestra el uso potencial de residuos de hojas de maíz para la producción de biocombustibles. Los resultados indicaron la presencia de series de hidrocarburos, grandes cantidades de compuestos oxigenados y algunos compuestos de nitrógeno y azufre que disminuían a medida que aumentaba la temperatura de pirólisis de los residuos (Amer et al., 2021).

Conforme a Luo et al. (2022), el potencial del uso de la mazorca de maíz como fuente de energía primaria para la generación de electricidad es rentable y necesario, debido a que el aumento en la demanda de energía, el costo del combustible y los problemas ambientales, han generado una carrera por disminuir el uso de combustibles fósiles. La investigación desarrollada por Wilaipon et al. (2022) proporciona una descripción general de la disponibilidad de mazorcas de maíz en Tailandia y una descripción de un motor-generador de gasificación de biomasa a pequeña escala; los autores manifiestan que se podría producir más de 1 GWh/año a partir de esta técnica. Esto proporcionará ahorros sustanciales en el costo del combustible y una reducción en los impactos ambientales.

Los biopolímeros procedentes de los residuos del maíz pueden ser transformados en electrolitos de biopolímero (EBP). Los EBP han sido ampliamente estudiados para sustituir electrolitos líquidos convencionales en dispositivos de almacenamiento de energía, debido a que los electrolitos convencionales de las baterías son inflamables, lo que genera riesgos en los sistemas de almacenamiento de energía durante su operación: de allí la necesidad de reemplazarlos con electrolitos sólidos no inflamables, tales como biopolímeros (Cardoso et al., 2018). Por ejemplo, Liew y Ramesh (2015), determinaron en su experimentación que

un condensador eléctrico de doble capa (EDLC) muestra un rendimiento electroquímico mejorado tras la adición de líquido iónico al electrolito de biopolímero de residuos de maíz.

Referente a almacenamiento de energía, Cong et al. (2020) utilizaron una ruta asistida de manera hidrotérmica sin usar ningún producto químico para transformar desechos de tallos de maíz en materiales de ánodo de carbono duro de alto rendimiento para baterías recargables de iones de sodio. El resultado de este trabajo indica que el tratamiento hidrotermal es una estrategia eficaz para eliminar las impurezas inorgánicas de los desechos de biomasa y promover el rendimiento electroquímico del ánodo de carbono duro resultante para las baterías de iones de sodio.

Por otro lado, según Nurhayati et al. (2016), es necesario que la producción agrícola incorpore estrategias sostenibles. Asimismo, es fundamental que los agricultores se esfuercen más para lograr la sostenibilidad de la producción. Una de las alternativas que proponen es la implementación de biobriquetas de mazorca de maíz y de cascarilla de arroz como alternativa energética para reducir el impacto negativo del cambio climático. Además, esta fuente de combustible podría generar beneficios económicos al convertir los desechos en energía, aumentando el valor agregado del producto agrícola y por consiguiente los ingresos anuales.

### ***Residuos de maíz y la ingeniería civil***

Investigaciones realizadas por Sharma et al. (2022) y Ramírez y García (2021) manifiestan que los residuos del maíz pueden ser utilizados en la fabricación de adoquines de hormigón, útiles para la construcción de pavimentos, aceras, jardines y plazas públicas. Tales adoquines ecológicos podrían ser una alternativa rentable para la reutilización de desechos provenientes de la cosecha del maíz.

Específicamente, Sharma et al. (2022) utilizaron materiales de desecho como la ceniza de mazorca de maíz y humo de sílice para fabricar hormigón, reemplazando el 15% de cemento Portland, con el objetivo de hacer que las mezclas de concreto sean más amigables con el ambiente. El resultado de este estudio muestra que agregar materiales cementantes secundarios (MCS) a las mezclas de concreto reduce el asentamiento de la mezcla. Junto a ello, las pruebas mostraron que el 10% de MSC resultó ser la mejor concentración para mejorar las resistencias a la tracción y a la compresión.

Por otro lado, Ramírez y García (2021) evaluaron el comportamiento mecánico de adoquines de hormigón, a los cuales se les adicionó residuos de maíz. Sus resultados muestran que mientras menor es el contenido de hojas de maíz mejor es la apariencia del adoquín, si bien en general los tratamientos realizados cumplen con lo especificado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3040-2016. Por lo tanto, los adoquines con residuos de maíz son una alternativa de calidad, más livianos y ecológicos al adoquín convencional.

## **Aprovechamiento de residuos de maíz en la industria de alimentos**

Uno de los residuos de los cuales se beneficia la industria alimentaria y no alimentaria es el salvado de maíz (SM), el cual es el coproducto más abundante del proceso de molienda en seco del maíz. El SM se caracteriza por su alto porcentaje de hemicelulosa (García, 2022), por lo cual Yadav et al. (2016) lo utilizaron en su investigación para elaboración de gomas de fi-

bra de base biológica (GFB) a partir de los flujos de desechos resultantes del procesamiento comercial de salvado de maíz y cáscaras de avena. Las GFB obtenidas presentaron características funcionales útiles: por ejemplo, se pueden utilizar como emulsionantes de aceite en agua y agua en aceite, como agentes aglutinantes y como antioxidantes, pudiendo ser aprovechadas como aditivos en la industria alimentaria.

Referente a aditivos alimentarios, García (2022) manifiesta que la zeína, residuo proteico de la industria del etanol y del maíz, puede ser utilizada como estabilizante en emulsiones. En su investigación muestra que la combinación de zeína-goma puede reducir mecanismos de desestabilización, especialmente en emulsiones ricas en aceite de girasol, mientras que Ma et al. (2022) desarrollaron una nueva partícula a base de polisacárido como portador de curcumina (Cur) a través del autoensamblaje impulsado por interacciones electrostáticas entre la goma de fibra de maíz carboximetilada (CMCFG) y el quitosano (Cs). Este estudio proporciona apoyo a la estrategia para el diseño adecuado de partículas de biopolímeros como vehículos de suministro de nutrientes hidrofóbicos en los campos biomédicos y alimentarios.

Referente a la industria alimentaria, Peña-Gómez et al. (2020) sugieren que es posible realizar un filtro tubular de celulosa a parte de tallos de maíz como sustituto de la pasteurización en alimentos líquidos. La experimentación consistió en eliminar levadura *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus casei* del jugo de naranja, para luego realizar una filtración continua de jugo de naranja comercial durante veinte días, a fin de eliminar *S. cerevisiae* y *L. casei*. Los resultados mostraron que los tallos de maíz deslignificados son un material filtrante eficaz para eliminar microorganismos del jugo de naranja comercial contaminado. Por lo tanto, el material filtrante propuesto es una alternativa prometedora de bajo costo a las tecnologías de pasteurización térmica existentes para alimentos líquidos.

En cuanto a la elaboración de alimentos para animales, Laiño (2021) desarrolló una investigación sobre el ensilaje para rumiantes a partir de rastrojo de maíz con diferentes niveles de urea y melaza. Los resultados muestran que la composición química, temperatura y pH como indicadores tecnológicos y el recuento de bacterias totales, lactobacillus y hongos como variables de calidad microbiológica son adecuados a los 35 días de fermentación del ensilado. Por su parte, Xing et al. (2020) manifiestan en su investigación que el ensilado de rastrojo de maíz es más adecuado para la alimentación bovina que para la ovina. Detallan que el alto contenido de humedad de los residuos orgánicos utilizados como alimento para animales ocasionan problemas en el manejo de la alimentación, por lo que recomiendan incorporar los desechos del maíz como harinas que formen parte del pienso alimenticio.

De acuerdo con Linares et al. (2021), en la agroindustria es posible aprovechar los tallos y hojas del maíz para la elaboración de envases de papel. En su estudio caracterizaron la funcionalidad de un envase de papel desarrollado a partir de la celulosa de los tallos y hojas de maíz en la conservación de chiles serranos almacenados a temperatura ambiente. Los resultados muestran que el uso de envases primarios a partir de residuos de maíz favorecen la calidad organoléptica del producto envasado.

## **Residuos de maíz en biorremediación**

La aplicación de biocarbón como agente de biorremediación muestra tanto ventajas técnicas como amplias fuentes de materias primas, de bajo costo y seguridad ecológica. Investigaciones como la de Lahori et al. (2017) argumentan que el biocarbón puede aumentar el valor del pH del suelo y producir la reducción de biodisponibilidad de metales pesados en el suelo mediante el intercambio catiónico. En este contexto, Xu et al. (2020) presentan una investigación en la que utilizan rastrojo de maíz y desechos de cocina para crear un biocarbón pirolizado que sirva para la inmovilización de Pb y Cd en suelo contaminado utilizando como cultivo de estudio la col. Sus resultados muestran que el biocarbón de rastrojo de maíz podría mejorar el pH y reducir el Pb y el Cd extraíbles en el suelo. En contraste, Astudillo et al. (2020) evaluaron el poder absorbente de las hojas del maíz para remover Pb y Cd en aguas residuales de un laboratorio químico. El estudio demuestra que cuando aumenta la cantidad de biomasa de hojas de maíz la remoción es mayor.

En cuanto a biorremediación de aguas residuales, Xia et al. (2018) desarrollaron un floculante de biopolímero compuesto (FBC) a partir de aguas residuales de etanol de maíz. La macromolécula FBC está compuesta principalmente por proteína (15,9%) y polisacárido (81,8%). FBC es tolerante en un rango amplio de pH de 3,0 a 12,0 y es tolerante a temperaturas de 20 a 100°C, lo cual permite su aplicación en una amplia gama de condiciones. Además, FBC muestra una alta eficiencia de eliminación de azul de metileno. Dichos resultados indican que este compuesto biopolímero floculante mantiene un gran potencial en el tratamiento de aguas residuales de tinte.

Además, la biomasa renovable también es utilizada en la producción de aerogeles que pueden ser útiles para la biorremediación debido a que son capaces de absorber de aceite o solventes orgánicos del agua contaminada (Ma et al., 2017). La investigación realizada por Wang et al. (2022b) propuso un novedoso aerogel hidrofóbico de glucomanano/fibras de tallo de maíz (KMG/FTM). El aerogel presentó una alta capacidad de absorción (24,76 - 58,07 g/g) para varios líquidos orgánicos. Además, después de diez ciclos, la capacidad de adsorción del aerogel para cloroformo y diésel se mantuvo por encima del 90% de la capacidad de adsorción inicial, mostrando una excelente reutilización. Más importante aún resultan los aceites o solventes orgánicos que podrían ser absorbidos selectivamente por el aerogel hidrofóbico KGM/CSFs de mezclas de aceite/agua con una eficiencia de separación de más del 99,38%. Por lo tanto, el uso tallos de maíz en la elaboración de aerogel hidrofóbico es un absorbente prometedor para la absorción eficiente y selectiva de aceites o solventes orgánicos.

En otro estudio referente a la temática, Kamarudin et al. (2020) describen la preparación de membranas de fibra hueca de cerámica verde derivadas de metacaolín (MK) y residuos de ceniza de mazorca de maíz (RCM), utilizando técnicas de inversión de fase y sinterización. Una proporción de MK se sustituyó con ceniza de mazorca de maíz (RCM) como material agente formador de poros y auxiliar de sinterización en la preparación de la membrana. El estudio demostró que el MK-RCM es efectivo, sostenible y ecológicamente amigable con el ambiente para las aplicaciones de soporte de membranas para la filtración de agua y separación de agua y aceite.

En este campo, Ma et al (2017) desarrollaron un hidrogel con residuos de tallo de maíz para la eliminación del colorante azul de metileno (AM) de una solución acuosa. El 99,70% del colorante AM se eliminó con una dosis compuesta de hidrogel de 0,2g/L y una temperatura de 50°C. Esta investigación es una valiosa contribución para la protección del ambiente, que no solo convierte los tallos de maíz de desecho en materiales funcionales, sino que mejora la eliminación del colorante orgánico de las aguas residuales.

Los desechos del maíz pueden ser usados también para elaboración de pigmentos. Wang et al. (2022a) utilizaron ganga de carbón, residuos industriales de zeolita y residuos de paja de maíz reciclados para sintetizar pigmento azul ultramar de alta resistencia ( $\text{Na}_7\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_3$ ) a los ácidos. En su experimentación no solo lograron la reutilización de recursos a bajo costo sino que también mejoraron la resistencia a la lluvia ácida de los pigmentos. Lo anterior es beneficioso debido a que, desde la antigüedad, el pigmento azul ultramar ha sido uno de los más preciados y actualmente la mayoría de las fábricas que lo producían se encuentran suspendidas debido a la gran cantidad de contaminantes  $\text{SO}_2$  emitidos al aire durante su producción.

Adicionalmente, Guin et al. (2018) utilizaron las hojas del maíz para desarrollar un adsorbente termoestable eficiente y económico con una capacidad de adsorción específica de 1682,7 mg/g de azul de metileno a pH 9,0 y 46,85°C. Los resultados obtenidos fueron positivos. Por tanto, podrían ser una alternativa viable a la disminución de la contaminación de los ecosistemas generada por los efluentes industriales provenientes de industrias textiles, alimenticias y de pinturas (Wang et al., 2022a).

En relación a recursos, estos son cada vez menores, por lo cual se debe buscar toda oportunidad para reciclar los materiales de desecho. Una alternativa viable es utilizar el rastrojo de maíz fermentado como sustrato sólido para viveros. Liu et al. (2011) fermentaron la paja de maíz como sustrato sólido para viveros ornamentales. Las características (contenido de nutrientes, pH) del sustrato fermentado de paja de maíz se midieron y ajustaron para adaptarse al crecimiento de las plantas de prueba de la especie *Osmanthus fragrans Huang chuan jin* durante un periodo de dos años. En relación a las materias primas, el contenido de celulosa disminuyó un 24,9%, el contenido de hemicelulosa disminuyó un 8,3% y el contenido de lignina disminuyó un 48,5%, disminución que podría estar asociada con la liberación de dióxido de carbono y otras sustancias químicas metabólicas intermedias. Los valores de pH reportados son mayores a siete, lo que podría limitar su uso para plantas sensibles al sustrato alcalino.

Por otro lado, Campos et al. (2021) han informado que el vermicompostaje es una tecnología importante para reciclar la materia orgánica y los nutrientes de desechos agrícolas. Sin embargo, las condiciones climáticas son obstáculos en climas semiáridos, pues las altas temperaturas y la baja humedad pueden interferir negativamente en la adaptación de las lombrices y la producción de compostaje de raquis y paja de maíz. Campos et al. (2021) aplicaron vermicompostaje en los residuos de maíz (mazorca y paja de maíz) en condiciones culturales (utilizando residuos locales y condiciones de campo replicables) y climáticas del Backwoods brasileño. La experimentación tuvo una duración de 120 días durante los cuales se realizó un monitoreo químico. Los resultados mostraron un aumento en la estabilidad de materia orgánica, junto a un aumento considerable en el potencial agrícola del vermicompostaje en la capacidad de intercambio catiónico, que aumentó de 37 a 649  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , mien-

tras que la cantidad de carbono orgánico total se redujo de 43 a 27%. En este contexto las vermicompostas preparadas con residuos de maíz pueden ser usadas para mejorar calidad del suelo y promover una agricultura moderna.

### **Biopolímeros a partir de los desechos de *Zea mays***

Las aplicaciones potenciales para biopolímeros incluyen materiales de construcción y acabado, equipo médico, procesamiento y empaque de alimentos, tratamiento de aguas residuales industriales y municipales. Con el rápido desarrollo de la sociedad y la escasez de recursos no renovables, el uso efectivo de los recursos renovables se ha convertido en un foco de atención popular. Como fuente importante de alimento, el maíz produce una amplia cantidad de residuos que pueden ser usados como recursos de biomasa (Srivastava et al., 2022). Los RM, especialmente las cascarillas, por su alto contenido en fibra, son utilizadas en la elaboración de biopolímeros que presentan comportamiento similar al realizado con otros polímeros, aunque el alto costo de producción y la eficiencia relativamente baja son problemas que aún deben resolverse (Xu et al., 2010).

El sustrato es conocido como el principal contribuyente que puede reducir el costo de producción de estas enzimas a gran escala. En el estudio de Srivastava et al. (2022) los desechos de mazorcas de maíz se emplearon como sustrato potencial para producir una buena y eficiente cantidad de celulasa utilizando la cepa bacteriana *Bacillus subtilis*. Los resultados registrados en dicho presente estudio podrían tener potencial para la producción de celulasa bacteriana a gran escala y bajo costo utilizando sustrato rico en celulosa. Por ejemplo, residuos de mazorca de maíz que puedan ser vitales para numerosas aplicaciones industriales.

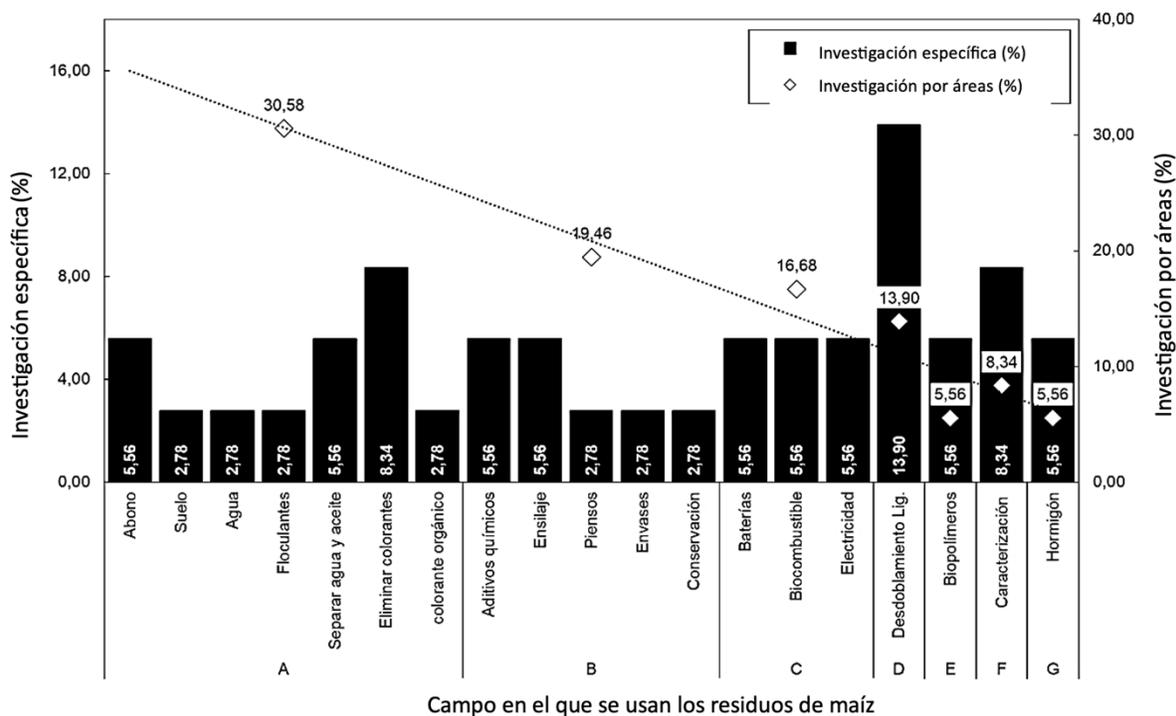
Un estudio realizado por Liu et al. (2019) menciona que a partir de residuos de tallo de maíz es posible extraer fibra celulósica mediante un tratamiento con solución de silano a diferentes concentraciones; las fibras celulósicas naturales tienen un potencial significativo como refuerzos para reemplazar las fibras sintéticas aplicadas en compuestos de biopolímeros. Los resultados químicos de su experimentación mostraron que los tratamientos con silano eliminan una cierta cantidad de hemicelulosas y lignina de la superficie de fibra del tallo de maíz (FTM) y aumentan el índice de cristalinidad y el tamaño de cristales de los compuestos de polímeros reforzados con tallos de maíz. Además, pueden mejorar la unión interfacial fibra-matriz y mejorar la resistencia al impacto de los compuestos poliméricos, siendo un método útil para la obtención de FTM para reemplazar fibras sintéticas utilizadas en la elaboración de envases e industria textil.

Li et al. (2022), por su parte, presentan la posibilidad de utilizar el rastrojo de maíz como materia prima para preparar eficientemente biopelículas poliméricas. En su experimentación disolvieron el rastrojo de maíz en cuatro soluciones de sal inorgánica preparadas con bromuro de litio, bromuro de calcio, bromuro de zinc y cloruro de zinc, respectivamente. Las cuatro biopelículas preparadas mostraron buenas propiedades mecánicas, hidrofilia y alta porosidad. El análisis de espectroscopia infrarroja mostró que la celulosa, la hemicelulosa y la lignina en la harina de rastrojo de maíz reaccionaron con la solución inorgánica. La ventaja de esta tecnología es que el rastrojo de maíz se puede preparar como material de membrana en poco tiempo y mediante una operación experimental simple.

## Campos de investigación que aprovechan los residuos del maíz

El análisis de literatura muestra los principales campos en los cuales se ha investigado la utilización de RM, los cuales son biorremediación (A), alimentación (B), energía (C), desdoblamiento de lignocelulosa (D), biopolímeros (E), caracterización (F) y construcción (G). En la Figura 2 se puede observar el porcentaje total de uso por áreas o campos y el porcentaje específico de utilización de residuos del maíz por cada subárea. De la revisión bibliográfica se determina que la mayoría de las investigaciones (30,58%) se realizan en el área de biorremediación (A) debido a las características porosas y fibrosas que presentan los residuos del maíz. Estos son útiles para la elaboración de agentes absorbentes, aerogeles e hidrogeles beneficiosos en la remoción de metales pesados (especialmente Cd y Pb), y también se usan para la absorción y/o separación de grasas, solventes orgánicos y colorantes de aguas residuales. Además, se muestra que es posible obtener del pigmento azul ultramar, reemplazando así su fuente de origen inorgánico.

**Figura 2.** Análisis de la utilización (%) del maíz en diferentes áreas de investigación  
*Figure 2. Analysis of the use (%) of corn in different research areas*



Fuente: elaboración propia a partir de artículos revisados. Source: own elaboration based on reviewed articles.

La Figura 2 también muestra que la menor utilización de residuos del maíz se da en la elaboración de biopolímeros (E) y la construcción (G). Ello podría deberse a que para la elaboración de biopolímeros es necesario el desdoblamiento de la lignocelulosa que, por lo general está ligada a la contaminación originada por el consumo NaOH (Zahoor et al., 2021). La búsqueda de soluciones a esta problemática se evidenció con el 13,90% de investigaciones dirigidas a la búsqueda de métodos alternativos para desdoblar la lignocelulosa (D) de los RM. En el caso de construcción (G) los artículos revisados muestran que los residuos del maíz pueden ser útiles para la construcción de hormigón.

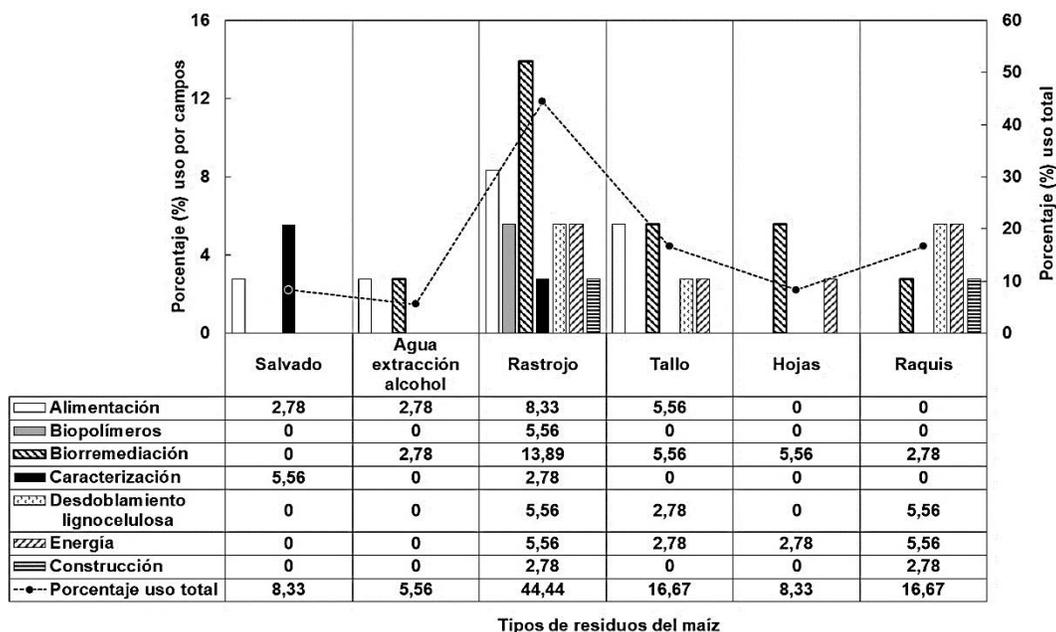
### Tipos de residuos del maíz y su aprovechamiento en diferentes áreas

El análisis de literatura realizado evidencia que los RM aprovechados son salvado, agua residual de la extracción de alcohol de maíz y rastrojo. De los mencionados el más utilizado es el rastrojo (44,44%). Cabe mencionar que el rastrojo está compuesto por hojas, tallos y raquis. Además, este residuo es utilizado en todas las áreas identificadas en esta investigación (Figura 3). Ello se debe al alto contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina que poseen estos residuos (Vinueza, 2020). De manera individual las investigaciones se centran en la utilización de los tallos (16,67%) y raquis (16,67%).

Los tallos son usados debido a la calidad de fibra que contienen. Entre los principales usos que se les puede dar encontramos la elaboración de alimentos, de envases, y construcción de membranas filtrantes que pueden remplazar a la pasteurización en alimentos líquidos. Por otra parte, el raquis puede ser utilizado para la generación de biocombustibles o como material cementante secundario en la construcción de hormigón.

**Figura 3.** Proporción de los tipos de residuos del maíz utilizados en diferentes áreas de investigación

Figure 3. Proportion of types of corn residues used in different research areas



Fuente: elaboración propia a partir de artículos revisados. Source: own elaboration based on reviewed articles.

### El futuro de los residuos del maíz en la industria, especialmente en la agroindustria

La necesidad de aprovechar los residuos procedentes de la industria es una realidad: la investigación realizada muestra que es posible utilizar los residuos del maíz con resultados positivos y económicos. La mayor problemática presentada es la utilización de NaOH para desdoblar lignocelulosa, aunque en la revisión bibliográfica por temas se han presentado ciertas alternativas que podrían solucionar el inconveniente.

Los componentes estructurales de los residuos del maíz son bastos para afirmar que su utilización es rentable, por ejemplo el raquis o corona de maíz se encuentra compuesto por proteínas (6,7%), grasas (1,5%), fibra (1,8%), carbohidratos (76,9%), agua (11,4%) y cenizas (1,7%). Además, dentro de esta composición se encuentra el 34% de hemicelulosa, de la cual el 94% corresponde a xilanas, útiles en el desarrollo de fertilizantes (Vinueza, 2020).

Por otro lado, las hojas de maíz están compuestas por holocelulosa (78,86%), a-celulosa (43,14%), lignina (23%) y cenizas (0,76%) (Vinueza, 2020), y las características de las hojas de maíz las hacen óptimas para la producción de papel. En tanto, según Treviño et al. (2011), el tallo del maíz cuando el grano se encuentra en estado pastoso contiene proteína bruta (8,3%), extracto etéreo (1,1%), celulosa (23,6%), lignina (5,8%) y azúcares solubles (35,3%). Cuando el grano se encuentra en estado maduro contiene proteína bruta (7,6%), extracto etéreo (1,0%), celulosa (24,8%), lignina (6,3%), azúcares solubles (31,0%), siendo por sus características un material filtrante útil en alimentos.

## Conclusiones

El principal componente de los residuos del maíz es la lignocelulosa. Este compuesto para ser aprovechado de manera eficiente debe ser desdoblado; por lo tanto, el 13,90% de investigaciones revisadas plantean métodos de hidrólisis alternativos al uso de NaOH. Apenas el 19,46% de los estudios analizados tienen relación con el área de alimentos, los cuales son referentes a alimentación animal, elaboración de envases y producción de aditivos alimentarios, especialmente emulsionantes y estabilizantes. En esta revisión no se encontraron artículos de investigaciones relacionados al aprovechamiento de RM para la alimentación humana, pese a que las propiedades bromatológicas de los RM son equiparables a las establecidas para la harina de maíz precocinada en la norma NTE INEN 1737 por el Servicio Ecuatoriano de Normalización, donde se menciona que las cantidades mínimas de proteína de 7%, y valores máximos de humedad, ceniza y grasa de 13,5%, 1% y 2,2%, respectivamente. Por ende, se concluye que los residuos del maíz pueden ser utilizados en la industria alimenticia. No obstante, la mayor utilidad (30,58%) que se ha encontrado hasta el día de hoy para los RM es la biorremediación de agua y suelo.

## Bibliografía

- Amer, M.W., Aljariri Alhesan, J.S., Ibrahim, S., Qussay, G., Marshall, M. y Al-Ayed, O.S. (2021). Potential Use of Corn Leaf Waste for Biofuel Production in Jordan (Physio-chemical Study). *Energy*, 214, 118863. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118863>
- Astudillo, S., Vera, L., Astudillo, J. y Castro, C. (2020). Evaluación del poder biosorbente de la hoja de maíz en la remoción de metales pesados. *Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada*, 77(591), 182-188.
- Campos Silva, J., Jayane Nunes Siqueira, A., Bezerra Maia, H. y Rachide Nunes, R. (2021). Vermicomposting Corn Waste under Cultural and Climatic Conditions of the Brazilian Backwoods. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100730. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100730>

- Cardoso, J., Nava, D. y Guzmán, G. (2018). Sistema de almacenamiento de energía y el uso de biopolímeros electrolitos. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*, 110, 61-67.
- Cong, L., Tian, G., Luo, D., Ren, X. y Xiang, X. (2020). Hydrothermally Assisted Transformation of Corn Stalk Wastes into High-performance Hard Carbon Anode for Sodium-ion Batteries. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 871, 114249.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114249>
- Espinosa, R.V., Soto, M., Garcia, M.V. y Naranjo, J.E. (2021). Challenges of Implementing Cleaner Production Strategies in the Food and Beverage Industry: Literature Review en M. V. García, F. Fernández-Peña y C. Gordón-Gallegos (Eds.), *Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1307, pp. 121-133). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-33-4565-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-33-4565-2_8)
- Gao, M., Zou, H., Tian, W., Shi, D., Chai, H., Gu, L., He, Q. y Tang, W.Z. (2021). Co-digestive Performance of Food Waste and Hydrothermal Pretreated Corn Cob. *Science of The Total Environment*, 768, 144448. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144448>
- García, J.S. (2022). *Aprovechamiento y revalorización de un residuo proteico del maíz como estabilizante de productos alimentarios*. [Tesis de doctorado]. Universidad de Sevilla.
- Guin, P.J., Bhardwaj, Y.K. y Varshney, L. (2018). Radiation Grafting: A Voyage from Bio-waste Corn Husk to an Efficient Thermostable Adsorbent. *Carbohydrate Polymers*, 183, 151-164. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.101>
- Kamarudin, N.H., Harun, Z., Othman, M.H.D., Abdullahi, T., Syamsul Bahri, S., Yunos, M.Z. y Wan Salleh, W.N. (2020). Waste Environmental Sources of Metakaolin and Corn Cob Ash for Preparation and Characterisation of Green Ceramic Hollow Fibre Membrane (h-MCa) for oil-Water Separation. *Ceramics International*, 46(2), 1512-1525.  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.118>
- Lahori, A.H., Guo, Z., Zhang, Z., Li, R., Mahar, A., Awasthi, M. K., Shen, F., Sial, T.A., Kumbhar, F., Wang, P. y Jiang, S. (2017). Use of Biochar as an Amendment for Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Prospects and Challenges. *Pedosphere*, 27(6), 991-1014.  
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60490-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60490-9)
- Laiño, A.S. (2021). *Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico*. [Tesis de doctorado]. Universidad de Córdoba.
- Li, Y., Song, X., Xu, W., Duan, X., Shi, J. y Li, X. (2022). Preparation of Biomass Film from Waste Biomass Energy Corn Stalk under Carbon Neutralization Strategy. *Materials Today Communications*, 32, 104001. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104001>
- Liew, C.W. y Ramesh, S. (2015). Electrical, Structural, Thermal and Electrochemical Properties of Corn Starch-based Biopolymer Electrolytes. *Carbohydrate Polymers*, 124, 222-228.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.024>

- Linares Castañeda, A., Corzo Ríos, L.J., Bautista Ramírez, E. y Gómez, Y.M. (2021). Elaboración de un envase primario para alimentos a partir de residuos de maíz y piñón mexicano. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24(1), 1-15.
- Liu, X., Li, C., He, R. y Yang, Q. (27-29 de mayo de 2011). The Study and Application of Corn Straw Organic Growing Substrate in Ornamental Nurseries en *2011 International Conference on New Technology of Agricultural* (pp. 212-215). Zibo, China.  
<https://doi.org/10.1109/ICAE.2011.5943786>
- Liu, Y., Lv, X., Bao, J., Xie, J., Tang, X., Che, J., Ma, Y. y Tong, J. (2019). Characterization of Silane Treated and Untreated Natural Cellulosic Fibre from Corn Stalk Waste as Potential Reinforcement in Polymer Composites. *Carbohydrate Polymers*, 218, 179-187.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.088>
- Luo, G., Wang, W., Xie, W., Tang, Y., Xu, Y. y Wang, K. (2022). Co-pyrolysis of Corn Stover and Waste Tire: Pyrolysis Behavior and Kinetic Study Based on Fraser-Suzuki Deconvolution Procedure. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 168, 105743.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105743>
- Ma, D., Zhu, B., Cao, B., Wang, J. y Zhang, J. (2017). Fabrication of the Novel Hydrogel Based on Waste Corn Stalk for Removal of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution. *Applied Surface Science*, 422, 944-952. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.072>
- Ma, Z., Yao, J., Wang, Y., Jia, J., Liu, F. y Liu, X. (2022). Polysaccharide-based Delivery System for Curcumin: Fabrication and Characterization of Carboxymethylated Corn Fiber Gum/Chitosan Biopolymer Particles. *Food Hydrocolloids*, 125, 107367.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107367>
- Nurhayati, A.Y., Hariadi, Y.C. y Hasanah, W. (2016). Endeavoring to Food Sustainability by Promoting Corn Cob and Rice Husk Briquetting to Fuel Energy for Small Scale Industries and Household Communities. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 386-395. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.154>
- Peña-Gómez, N., Panagopoulos, V., Kanellaki, M., Koutinas, A.A., Ruiz-Rico, M., Fernández-Segovia, I. y Barat, J.M. (2020). Non-thermal Treatment for the Stabilisation of Liquid Food Using a Tubular Cellulose Filter from Corn Stalks. *Food Control*, 112, 107164.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107164>
- Ramírez, J.B.V. y García, J.N.A. (2021). Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz. *Dominio de las Ciencias*, 7(5), 148-168.
- Sharma, N., Sharma, P. y Parashar, A.K. (2022). Incorporation of Silica Fume and Waste Corn Cob Ash in Cement and Concrete for Sustainable Environment. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4151-4155. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.677>
- Srivastava, N., Singh, R., Mohammad, A., Pal, D.B., Ahmad, I., Alam, M.M., Mishra, P.K. y Gupta, V. K. (2022). Acid Tolerant Multicomponent Bacterial Enzymes Production Enhancement under the Influence of Corn Cob Waste Substrate. *International Journal of Food Microbiology*, 373, 109698. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109698>

- Treviño, J., Hernández, M.T. y Caballero, R. (2011). Estudio del valor nutritivo de las hojas y tallo del maíz híbrido de tallo azucarado. *Pastos: Revista de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 4(2), 286-292.
- Vinueza Cisneros, B.S. (2020). *Composición química de residuos agroindustriales del maíz (Zea mays) (Cáscara, Pelusa, Tusa y Panca) utilizados en la alimentación de rumiantes*. [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Wang, H., Zhen, Z., Yao, S. y Li, S. (2022a). Synthesis of High Acid-resistant Ultramarine Blue Pigment through Coal Gangue, Industrial Zeolite Waste and Corn Straw Waste Recycling. *Resources Chemicals and Materials*, 1(2), 137-145.  
<https://doi.org/10.1016/j.recm.2022.03.003>
- Wang, W., Yang, D., Mou, L., Wu, M., Wang, Y., Tan, F. y Yang, F. (2022b). Remodeling of Waste Corn Stalks into Renewable, Compressible and Hydrophobic Biomass-based Aerogel for Efficient and Selective Oil/organic Solvent Absorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 645, 128940.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128940>
- Wilaipon, P., Fung, C.C. y Nayar, C. (28-31 de octubre de 2002). A Study on the Potential of Corn Cob Engine-generator for Electricity Generation in Thailand en *2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering. TENCOP '02. Proceedings*. Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2002.1182722>
- Xia, X., Liang, Y., Lan, S., Li, X., Xie, Y. y Yuan, W. (2018). Production and Flocculating Properties of a Compound Biopolymer Flocculant from Corn Ethanol Wastewater. *Bioresource Technology*, 247, 924-929. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.003>
- Xing, B.S., Cao, S., Han, Y., Wang, X. C., Wen, J. y Zhang, K. (2020). A Comparative Study of Artificial Cow and Sheep Rumen Fermentation of Corn Straw and Food Waste: Batch and Continuous Operation. *Science of The Total Environment*, 745, 140731.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140731>
- Xu, C., Zhao, J., Yang, W., He, L., Wei, W., Tan, X., Wang, J. y Lin, A. (2020). Evaluation of Biochar Pyrolyzed from Kitchen Waste, Corn Straw, and Peanut Hulls on Immobilization of Pb and Cd in Contaminated Soil. *Environmental Pollution*, 261, 114133.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114133>
- Xu, J., Cheng, W., Inglett, G. E., Wu, P., Kim, S., Liu, S. X. y Tseng, Y. (2010). Micro-heterogeneity of Cellulosic Fiber Biopolymer Prepared from Corn Hulls. *LWT Food Science and Technology*, 43(6), 977-981. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.008>
- Yadav, M.P., Hicks, K.B., Johnston, D.B., Hotchkiss, A.T., Chau, H.K. y Hanah, K. (2016). Production of Bio-based Fiber Gums from the Waste Streams Resulting from the Commercial Processing of Corn Bran and Oat Hulls. *Food Hydrocolloids*, 53, 125-133.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.017>

- You, Z., Pan, S.Y., Sun, N., Kim, H. y Chiang, P.C. (2019). Enhanced Corn-stover Fermentation for Biogas Production by NaOH Pretreatment with CaO Additive and Ultrasound. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117813. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117813>
- Zahoor, Wang, W., Tan, X., Guo, Y., Zhang, B., Chen, X., Yu, Q., Zhuang, X. y Yuan, Z. (2021). Mild Urea/KOH Pretreatment to Enhance Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover with Liquid Waste Recovery for Plant Growth. *Journal of Cleaner Production*, 284, 125392. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125392>
- Zambrano Mendoza, J.L. y Caviedes, M. (2022). *Estado actual de la producción de maíz en Ecuador*. INIAP-EESC.