

## Recuperación de Fósforo Presente en los Residuos de Frutas y Verduras mediante Carbonización Hidrotérmica para su Uso Agrícola

Brenda Jazmin Villafuerte Demeneghi, Alejandro Alvarado Lassman, Andrea Alvarado Vallejo, Erik Samuel Rosas Mendoza y Norma Alejandra Vallejo Cantú \*

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México.

\* Autor de correspondencia: [norma.vc@orizaba.tecnm.mx](mailto:norma.vc@orizaba.tecnm.mx)

**Desarrollo Sustentable** (Gestión y aprovechamiento de residuos sólidos)

Recibido: 4 de mayo de 2026

Aceptado: 15 de junio de 2026

Publicado: 25 de junio de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i2.636>

**Resumen:** El fósforo (P) es el segundo nutriente más importante para el crecimiento y desarrollo de cultivos, pero su disponibilidad es limitada debido a la disminución de las reservas de roca fosfórica. Las investigaciones sobre la disponibilidad del fósforo en los residuos sólidos orgánicos han despertado un interés por las técnicas de valorización de residuos para recuperar este nutriente y paralelamente combatir la problemática de generación de residuos. En este estudio se evaluó la aplicación de la carbonización hidrotérmica (HTC por sus siglas en inglés) como una alternativa de valorización a residuos sólidos de tomate, lechuga y naranja con el objetivo de analizar la recuperación de fósforo y otros nutrientes presentes en el agua de proceso obtenida. Los experimentos se realizaron en un reactor batch de acero inoxidable a temperaturas de 180 °C y 200 °C, durante 2 h, con una relación en cuanto a volumen de sustrato/agua 1:1. Se caracterizaron la fracción sólida de los residuos, así como los productos obtenidos (hidrochar y agua de proceso) en términos de sólidos totales, volátiles, cenizas, pH, demanda química de oxígeno (DQO) y determinación del nutriente fósforo al agua de proceso. Los resultados mostraron que un incremento de la temperatura favoreció la producción de hidrochar (29.96 g a 200 °C frente a 21.63 g a 180 °C), mientras que la recuperación de fósforo en el agua de proceso disminuyó significativamente (617.5 mg/L a 180 °C y 287.5 mg/L a 200 °C). En términos generales, los resultados muestran que la HTC a 180 °C favorece la recuperación de fósforo en la fase líquida, mientras que a 200 °C se genera un mayor rendimiento de hidrochar. Por lo tanto, esta tecnología representa una alternativa sostenible para la valorización de residuos orgánicos y el aprovechamiento de nutrientes, contribuyendo a la transición hacia una economía circular.

**Palabras clave:** valorización, fosfato, hidrochar, residuos

## Recovery of Phosphorus Present in Fruit and Vegetable Waste through Hydrothermal Carbonization for Agricultural Use

**Abstract:** Phosphorus (P) is the second most important nutrient for crop growth and development, but its availability is limited due to declining phosphate rock reserves. Research into the availability of phosphorus in solid organic waste has sparked considerable interest in waste techniques to recover this nutrient and, at the same time, combat the problem of waste generation. This study evaluated the application of hydrothermal carbonization (HTC) as an alternative for recovering solid waste from tomatoes, lettuce, and oranges, with the aim of analyzing the recovery of phosphorus and other nutrients present in the process water obtained. The experiments were carried out in a stainless steel batch reactor at temperatures of 180 °C and 200 °C for 2 h, with a substrate/water volume ratio of 1:1. The experiments were carried out in a stainless steel batch reactor at temperatures of 180 °C and 200 °C for 2 hours, with a substrate/water ratio of 1:1. The solid fraction of the waste was characterized, as well as the products obtained (hydrochar and process water) in terms of total solids, volatiles, ash, pH, chemical oxygen demand (COD), and determination of phosphorus nutrients in the process water. The results showed that an increase in temperature favored the production of hydrochar (29.96 g at 200 °C compared to 21.63 g at 180 °C), while phosphorus recovery in the process water decreased significantly (617.5 mg/L at 180 °C and 287.5 mg/L at 200 °C). Overall, the results show that HTC at 180 °C favors phosphorus recovery in the liquid phase, while at 200 °C, higher hydrochar yield is generated. Therefore, this technology represents a sustainable alternative for the valorization of organic waste and the use of nutrients, contributing to the transition towards a circular economy.

**Keywords:** valorization, phosphate, hydrochar, waste

### Introducción

El fósforo (P) es considerado como el segundo nutriente más importante para las plantas y es aplicado, principalmente por medio de fertilizantes químicos, en cultivos, suelos y agricultura (Micha *et al.*, 2023). Gracias a este nutriente, las plantas pueden satisfacer sus necesidades de fósforo para el crecimiento, reproducción y desarrollo de estas mismas,

siendo el fosfato la principal forma disponible del nutriente (López-Bucio *et al.*, 2025). Lamentablemente, la disponibilidad de fósforo es limitada debido a la formación de compuestos insolubles con calcio, hierro y aluminio en el suelo, se estima que cerca de dos tercios de las tierras agrícolas del mundo sufren escasez de este nutriente (Islam *et al.*, 2024). Esta reducción se asocia principalmente a los altos precios de los fertilizantes con fósforo, el cual proviene de rocas de fosfato, lo que lo hace un recurso finito y no renovable (Lopez-Vaquera, 2021).

Paralelamente, la generación de residuos se ha convertido en un problema global muy crítico, generando desafíos tanto ambientales como económicos y sociales. Se estima que aproximadamente un tercio del total de comida producida para el consumo humano se pierde o desperdicia globalmente (Agya, 2025). Entre los 1,300 millones de toneladas de desechos alimenticios generados al año, a nivel mundial, el 60% lo representan los residuos de frutas y verduras (Wu *et al.*, 2023) y según datos reportados por SEMARNAT en 2023, aproximadamente 120 mil toneladas de residuos son generados al día.

Un aspecto positivo de los desechos alimenticios es que contienen compuestos orgánicos e inorgánicos valiosos que pueden ser reutilizados en productos de valor agregado, como biofertilizantes, biocombustibles, etc. Contribuyendo así a la transición hacia una economía circular de cero residuos. Sin embargo, aunque existen métodos de eliminación convencionales como lo son la incineración y los vertederos, estos métodos provocan un daño ambiental significativo y pérdidas económicas (Pandey *et al.*, 2025). Existen otras técnicas de valorización de residuos, sin embargo, estas presentan limitaciones que dificultan su implementación, una de ellas es la pirólisis, el cual es un proceso de reacciones químicas que tienen lugar en ambientes de ausencia de oxígeno a temperaturas entre 673 y 1273 K (Melikoglu *et al.*, 2023). No obstante, debido a las propiedades físicas y químicas inestables de los desechos orgánicos, este método tiene ciertas desventajas (Oh *et al.*, 2024). La digestión anaerobia (DA) es una de las alternativas más utilizadas que también contribuye a la recuperación de nutrientes, mediante la producción de un digestato sólido de alta calidad que puede utilizarse para mejorar la fertilidad del suelo (Chatterjee *et al.*, 2020). Sin embargo, la naturaleza compleja y resistente de los residuos lignocelulósicos provoca una dificultad significativa y esto impide que se adopte ampliamente para el tratamiento anaerobio de residuos lignocelulósicos (Chen *et al.*, 2024).

Es por ello que la HTC se ha convertido en una alternativa atractiva y eficiente, ya que, este proceso termoquímico convierte los residuos húmedos, (sin necesidad de secado previo), en productos como el biogás, el hidrochar y el agua de proceso (Alfonso-Cardero *et al.*, 2020), de la cuál, a una temperatura entre 180°C y 250°C y un tiempo de residencia de 4 a 8 horas se puede recuperar una gran cantidad de fósforo y otros nutrientes presentes en los residuos (Shanmugam *et al.*, 2025).

Por tal razón, el objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la HTC de la fracción sólida de los residuos de frutas y verduras (RFV) bajo diferentes condiciones de tiempo, temperatura y relación sustrato:agua, con el fin de optimizar la recuperación de fósforo, contribuyendo así al desarrollo de alternativas sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos y a la obtención de nutrientes reutilizables en la producción de fertilizantes.

## **Materiales y Métodos**

### *Recolección y acondicionamiento de materia prima*

Los residuos de frutas y verduras (RFV), fueron recolectados del mercado Emiliano Zapata de la ciudad de Orizaba, Ver. Se recolectaron únicamente residuos de jitomate, lechuga y naranja, posteriormente se realizó una reducción de partícula para facilitar la trituración de los residuos con ayuda de un procesador de alimentos, posteriormente se realizó un proceso de filtración para separar la fracción sólida de la líquida, con el fin de obtener una cantidad aproximada a 600g de fracción sólida de RFV para las determinaciones y carbonizaciones necesarias de acuerdo a las condiciones del reactor.

### *Análisis fisicoquímicos de los RFV y productos de la HTC*

Previo a la HTC se realizó caracterización al primer lote de residuos que ingresó al reactor para la carbonización a 180°C y al segundo lote de residuos para la carbonización a 200°C, las determinaciones realizadas fueron sólidos totales (ST) por medio de secado a 105°C por 24 h en una estufa de aire marca (Riossa, México). Se caracterizaron los sólidos

volátiles (SV) y el contenido de minerales totales de los RFV por medio de calcinación en una mufla (Barnstead/Themolyne, Thermo Fisher Scientific, EE. UU.) a 550°C por 2 h, también se midió el pH tomando como base la norma NMX-AA-025-1984, a través de una dispersión de los sólidos en agua destilada con agitación en una placa magnética.

Tras la obtención de los productos de la HTC, se realizó por duplicado y se promedió la caracterización de ST, SV, cenizas, contenido de humedad y medición de pH tanto al agua de proceso como al hidrochar. Para el agua de proceso además se caracterizó la cantidad de materia orgánica por DQO total y DQO soluble. También se evaluó el contenido de fósforo presente en el agua de proceso y en el hidrochar. Los métodos utilizados para la medición de parámetros químicos evaluados se muestran en la Tabla 2 y los parámetros físicos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físicos y su método

| Físicos                        | Método                                               |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|
| pH                             | Potenciómetro 4500-H <sup>+</sup> B Standard Methods |
| Sólidos Totales (ST)           | Gravimétrico                                         |
| Sólidos Totales Volátiles (SV) | Gravimétrico                                         |
| Cenizas                        | Gravimétrico                                         |
| Humedad                        | Gravimétrico                                         |

Tabla 2. Parámetros químicos y su método

| Químicos                        | Método                                            |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| DQO Total (DQO <sub>T</sub> )   | Micrométodo Colorimétrico 5220 D Standard Methods |
| DQO Soluble (DQO <sub>S</sub> ) | Micrométodo Colorimétrico 5220 D Standard Methods |
| Fósforo                         | Método colorimétrico (Técnica de Fiske-Subbarow)  |

### Proceso de Carbonización Hidrotérmica

Se realizó el proceso de HTC en un reactor tipo batch de acero inoxidable marca TOPTION INSTRUMENTS, modelo CF-1 con tapa hermética. Se utilizó una dilución 1:1 en relación sustrato:agua, utilizando el 70% de la capacidad total del reactor la cual es de 1 L, a una temperatura de 180°C por un tiempo de residencia de 2 h. Posteriormente, se realizó la carbonización a una temperatura de 200°C. Cabe mencionar que las 2 carbonizaciones se realizaron por duplicado para observar las características y el comportamiento de la HTC, así como los resultados en los productos obtenidos.

### Obtención de productos de la HTC

Como primer paso se cuantificó el gas de síntesis recuperando la fase gaseosa mediante el método de desplazamiento de agua en probeta invertida, posteriormente al abrir el reactor, se procedió a separar el hidrochar del agua de proceso por medio de filtración. Se tomaron medidas de volumen y peso al agua de proceso, así como del hidrochar obtenido y previamente secado por 2 h a 105°C y mezclado cada 30 mi para la obtención de un secado uniforme.

## Resultados y Discusión

### Evaluación de la materia prima.

Se realizaron caracterizaciones de cada lote de fracción sólida de residuos húmedos para cada carbonización, es decir, para la HTC a 180°C y 200°C, así como a sus respectivos duplicados. En la Tabla 3 se muestran los resultados promediados con cada duplicado.

Tabla 3. Resultados de la caracterización de la fracción sólida húmeda de los residuos para las HTC a 180°C y 200°C

| Fracción sólida de RSO | %ST   | % CENIZAS | %HUMEDAD | %SV   | pH   |
|------------------------|-------|-----------|----------|-------|------|
| Lote para 180°C        | 14.95 | 5.95      | 85.02    | 94.04 | 4.03 |
| Lote para 200°C        | 14.98 | 6.92      | 85.01    | 93.07 | 3.20 |

Los resultados mostraron ligeras variaciones en las determinaciones que pueden ser causadas por la naturaleza de los residuos, el nivel de degradación, el pH y porcentaje de humedad de cada residuo.

#### *Rendimiento del proceso de carbonización*

El rendimiento en masa del hidrochar aumentó en el proceso de carbonización a 200°C, mientras que el agua de proceso disminuyó. Esto se debe a que el grado de deshidratación y condensación es limitado a temperaturas relativamente bajas (180°C) lo que permite que los compuestos solubles permanezcan en la fase líquida. Por el contrario, cuando es una temperatura alta se intensifican las reacciones de deshidratación de compuestos orgánicos lo que promueve la formación de estructuras carbonosas y mayor rendimiento de hidrochar. En la Tabla 4 se ilustran todos los resultados en cuanto a rendimiento de la HTC con fracción sólida de RSO y agua, para las temperaturas trabajadas (180°C y 200°C).

Tabla 4. Rendimiento de la HTC a 180°C y 200°C

| Temperatura (°C) | Masa de agua de proceso (g) | Masa de hidrochar (g) | Gas (mL) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|
| 180              | 455.8                       | 21.63                 | 2,140    |
| 200              | 431.21                      | 29.96                 | 2,390    |

Estos resultados evidencian que a mayores temperaturas se favorece la producción de hidrochar con propiedades de biocarbón, mientras que a temperaturas más moderadas la fase líquida retiene más compuestos orgánicos solubles y nutrientes.

#### *Caracterización del agua de proceso*

Se obtuvieron los siguientes resultados ilustrados en la Tabla 5 sobre las determinaciones de parámetros físicos y químicos del agua de proceso obtenida.

Tabla 5. Caracterización física y química del agua de proceso

| Temperatura (°C) | %ST  | % CENIZAS | %HUMEDAD | %SV   | pH   | DQOtotal | DQOsoluble |
|------------------|------|-----------|----------|-------|------|----------|------------|
| 180              | 1.71 | 15.92     | 98.28    | 84.07 | 3.76 | 51.16    | 43.17      |
| 200              | 1.67 | 23.56     | 98.32    | 76.43 | 4.12 | 50.50    | 50.00      |

Con base en estos resultados se observaron algunos cambios significativos, como lo es el caso del porcentaje de cenizas, lo cual sugiere una mayor concentración de minerales a medida que la fracción orgánica se degrada con la temperatura. Otra variación relevante fue en el porcentaje de Sólidos Volátiles (SV), confirmando que el incremento en la temperatura favorece la descomposición y volatilización de la materia orgánica.

Los resultados en cuanto a la demanda química de oxígeno (DQO) demuestran que la temperatura de reacción influye en la solubilidad de la materia orgánica durante la HTC. Aunque la DQO total fue similar a 180 °C (51.16 mg/L) y 200 °C (50.50 mg/L), la DQO soluble presentó un incremento a mayor temperatura, es decir de 43.17 mg/L a 50.00 mg/L. Esto refleja que a 200 °C ocurre una mayor transformación de compuestos orgánicos a solubilizarse, lo que aumenta su

disponibilidad en la fase líquida. En este sentido, la HTC a 200 °C podría considerarse más efectiva para liberar carbono soluble y compuestos orgánicos biodisponibles, mientras que a 180 °C se conserva una mayor proporción de materia orgánica no degradada.

En la Figura 1 se ilustra un esquema representativo de la obtención del agua de proceso tras la carbonización, donde se puede observar el aspecto característico (color), debido a la presencia de compuestos orgánicos solubilizados.

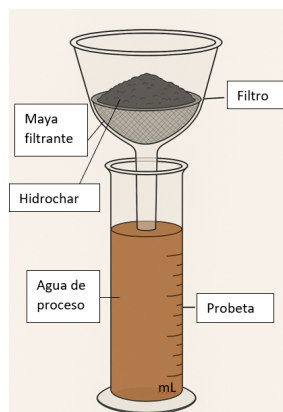


Figura 1. Esquema de medición del agua de proceso.

#### Caracterización del hidrochar

Se obtuvieron los siguientes resultados ilustrados en la Tabla 6 sobre las determinaciones de parámetros físicos del hidrochar obtenido.

Tabla 6. Caracterización física del hidrochar

| Temperatura (°C) | HTC a: | %ST   | % CENIZAS | %HUMEDAD | %SV   | pH   |
|------------------|--------|-------|-----------|----------|-------|------|
| 180              | 180°C  | 77.61 | 4.89      | 22.38    | 95.10 | 4.58 |
| 200              | 200°C  | 50.91 | 4.68      | 49.08    | 95.31 | 4.00 |

Los resultados demostraron que la temperatura de carbonización influye notablemente en la distribución de masa entre hidrochar y agua de proceso. Para el caso del hidrochar, a 180 °C se obtuvo un mayor contenido de sólidos totales (%ST = 77.61 %) y menor humedad (22.38 %), mientras que a 200 °C los sólidos totales disminuyeron a 50.91 % y la humedad aumentó a 49.08 %.

El hidrochar obtenido tras la HTC con fracción sólida de RSO cambió en cuanto a rendimiento de acuerdo a las diferentes temperaturas de reacción, sin embargo, su aspecto no difiere, como se muestra en las Figura 2 y Figura 3.



Figura 2. Hidrochar húmedo obtenido de la HTC a 200°C.



Figura 3. Hidrochar seco obtenido de la HTC a 180°C.

### Análisis fósforo del agua de proceso

Se determinó el contenido de fósforo a las aguas de proceso (A.P.) obtenidas de las HTC a 180°C y 200°C. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis elemental del agua de proceso (A.P.)

| Muestra             | Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ )<br>(mg/L) |
|---------------------|------------------------------------------|
| A.P. de HTC a 180°C | 617.5                                    |
| A.P. de HTC a 200°C | 287.5                                    |

Al realizar una comparación de resultados de fósforo, se pudo observar que el comportamiento del nutriente varió según las condiciones de cada carbonización. Como se muestra en la Figura 4, el contenido de fósforo como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), se presenta en mayor rendimiento a temperaturas relativamente bajas (180°C), de manera similar, Idowu *et al.*, 2017, reportaron que la mayor proporción de fósforo en la fase líquida, se obtuvo a 225 °C y disminuyó al aumentar la temperatura a 250 °C.

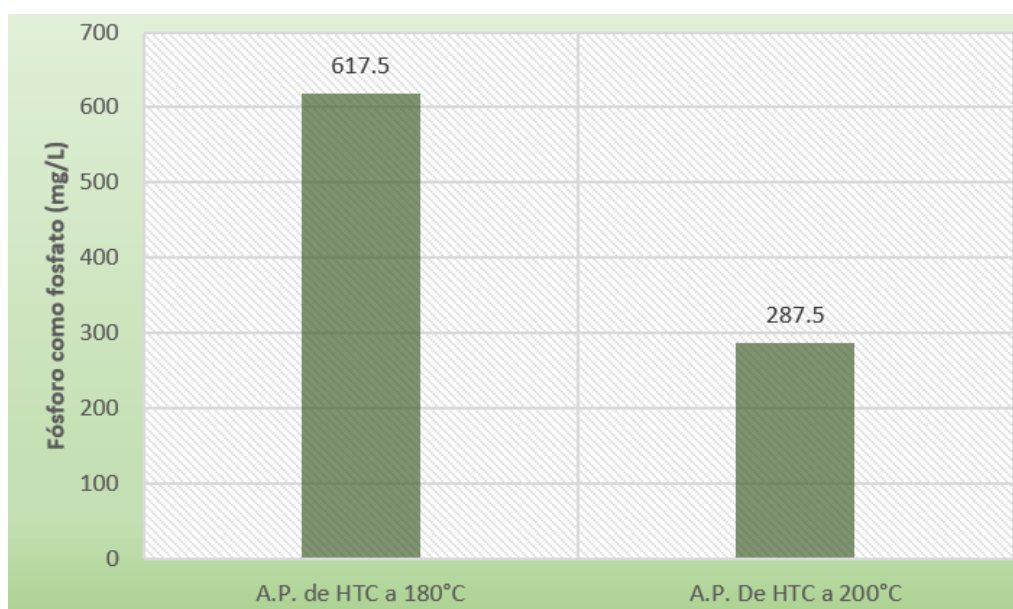


Figura 4. Gráfica de comparación de análisis de fósforo presente en el agua de proceso (A.P.), para cada HTC.

Este resultado es clave, ya que, trabajar a temperaturas relativamente bajas puede ser más eficiente para la recuperación de fósforo en la fase líquida, con potencial uso en la formulación de fertilizantes líquidos, mientras que a temperaturas más altas el fósforo podría concentrarse en el hidrochar, lo que favorecería su aplicación como enmienda agrícola rica en nutrientes.

### Conclusiones

Se comprobó que la temperatura de reacción influye directamente en la distribución de productos, a 200°C se incrementó el rendimiento del hidrochar, mientras que a 180°C se favoreció la fase líquida, obteniendo en esta misma, una cantidad significativa de agua de proceso y con un contenido de fósforo de 617.5 mg/L, lo que representa un potencial de aprovechamiento para su uso como mejorador de suelos. Se obtuvieron valores de pH bajos como resultados tanto en el hidrochar como en el agua de proceso y la fracción sólida de los RSO, lo que indica concentraciones de acidez. Además, se obtuvo un porcentaje alto de sólidos volátiles (76% - 96%) en todas las fases lo que indica una significativa presencia de compuestos orgánicos en el proceso, por lo que representa una ventaja para su aprovechamiento. Esto confirma que la HTC de residuos de RFV no solo representa una alternativa de manejo de

residuos orgánicos, sino también una estrategia de economía circular al recuperar fósforo y obtener productos con aplicaciones potenciales en agricultura y en procesos biotecnológicos.

**Agradecimientos y financiamiento:** Se agradece al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento otorgado mediante el proyecto No. 25009.26-P, así como a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico brindado a Brenda Jazmin Villafuerte Demeneghi a través de la beca de maestría.

## Bibliografía

- Agya, B. A. (2025). Technological solutions and consumer behaviour in mitigating food waste: A global assessment across income levels. *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.02.020>
- Alfonso-Cardero, A., Pagés Díaz, J., & Llanes, J. L. (2020). Recuperación energética de los residuos sólidos urbanos de La Habana mediante tratamientos termoquímicos, biológicos y reciclaje. 4–49. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31260.51846>
- Chatterjee, B., & Mazumder, D. (2020). New approach of characterizing fruit and vegetable waste (FVW) to ascertain its biological stabilization via two-stage anaerobic digestion (AD). *Biomass and Bioenergy*, 139, 105594. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105594>
- Chen, X., Zhang, X., Sun, C., Chen, Y., Xi, Z., Ma, G., ... & Kong, Z. (2024). New insights into anaerobic digestion of lignocellulosic wastes towards carbon neutrality: A review of current advancement and future prospects. *Journal of Water Process Engineering*, 68, 106584.
- Idowu, I., Li, L., Flora, J. R., Pellechia, P. J., Darko, S. A., Ro, K. S., & Berge, N. D. (2017). Hydrothermal carbonization of food waste for nutrient recovery and reuse. *Waste Management*, 69, 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.051>
- Islam, M., Siddique, K. H., Padhye, L. P., Pang, J., Solaiman, Z. M., Hou, D., ... & Bolan, N. (2024). A critical review of soil phosphorus dynamics and biogeochemical processes for unlocking soil phosphorus reserves. *Advances in Agronomy*, 185, 153–249. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.02.004>
- López-Bucio, J. S., Raya-González, J., & López-Bucio, J. (2025). Adaptation of plants to phosphorus scarcity: From nutritional crosstalk to organellar function. *Plant Science*, 112685. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112685>
- López-Vaquera, A. V. (2021). *Estudio de la acumulación de polifosfatos en microalgas nativas floculantes del estado de Nuevo León, para el desarrollo de una tecnología alternativa para el reciclaje de fósforo* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Melikoglu, M., Ozdemir, M., & Ates, M. (2023). Pyrolysis kinetics, physicochemical characteristics and thermal decomposition behavior of agricultural wastes using thermogravimetric analysis. *Energy Nexus*, 11, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100231>
- Micha, E., Tsakiridis, A., Ragkos, A., & Buckley, C. (2023). Assessing the effect of soil testing on chemical fertilizer use intensity: An empirical analysis of phosphorus fertilizer demand by Irish dairy farmers. *Journal of Rural Studies*, 97, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.12.018>
- Oh, D. Y., Kim, D., & Park, K. Y. (2024). A comprehensive comparative study on microwave-assisted pyrolysis products derived from raw and digested organic waste, with emphasis on sewage sludge, food waste, and livestock manure. *Heliyon*, 10(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29618>
- Pandey, A. K., Thakur, S., Mehra, R., Kaler, R. S. S., Paul, M., & Kumar, A. (2025). Transforming agri-food waste: Innovative pathways toward a zero-waste circular economy. *Food Chemistry: X*, 102604. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102604>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). Problemática de los residuos y los malos hábitos. <https://www.gob.mx/semarnat> (Consultado el 04 de agosto del 2025).
- Shanmugam, V., Kaynak, E., Das, O., & Padhye, L. P. (2025). The effects of feedstock types and their properties on hydrothermal carbonisation and resulting hydrochar: A review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 101024. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2025.101024>
- Vera-Romero, I., Estrada-Jaramillo, M., Martínez-Reyes, J., & Ortiz-Soriano, A. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 16(3), 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.012>
- Wu, R., Chen, M., Qin, Y., Liu, S., & Li, X. (2023). Combined hydrothermal and biological treatments for valorization of fruit and vegetable waste into liquid organic fertilizer. *Environmental Research*, 221, 115262. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115262>