



Los residuos agrícolas: Un aliado para la salud del suelo

Tomás Rivas-García¹
Rita Schwentesius-Rindermann^{2*}
Benjamín Hernández-Vázquez¹
Luis Enrique Vazquez-Robles²
Camilo Francisco Campos-Mariscal²

¹ CONAHCTY-Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, México.

² Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, México.

*Autor para correspondencia:
rschwentesiuss@chapingo.mx

La alta demanda de alimentos y de nuevas tierras agrícolas, en el futuro requerirán duplicar el rendimiento de los cultivos utilizando medios sostenibles. Sin embargo, satisfacer la demanda agrícola mediante el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas ha provocado la degradación de la tierra y la contaminación ambiental. La incorporación de residuos agrícolas tiene beneficios en la mejora de la calidad del suelo. Por lo cual, en el desarrollo de este artículo se habla sobre la composición, el contenido de nutrientes, la estructura física de los residuos de cultivos, y aplicaciones en campo. Una buena comprensión de estos efectos es esencial para la gestión sostenible de la agricultura y el medio ambiente.



Reincorporar los residuos agrícolas puede mejorar las propiedades físicas del suelo al aumentar el contenido de humedad, disminuir la densidad aparente y aumentar la porosidad total y la estabilidad de los agregados.

Introducción

La alta demanda de alimentos y la escasez de nuevas tierras agrícolas, en el futuro requerirán duplicar el rendimiento de los cultivos utilizando medios sostenibles. Satisfacer la demanda proyectada de producción de alimentos es un desafío crucial. De hecho, aumentar la productividad de los cultivos mitigando el cambio climático y preservando los agro-ecosistemas es uno de los objetivos importantes de la agricultura sostenible. Sin embargo, satisfacer la demanda agrícola mediante el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos ha provocado la degradación de la tierra y la contaminación ambiental en varios agro-ecosistemas, lo que ha tenido un efecto adverso en los seres humanos, los animales y los ecosistemas acuáticos.



La agricultura sostenible se ha definido como un enfoque integrado alternativo que podría utilizarse para resolver cuestiones fundamentales y aplicadas relacionadas con la producción de alimentos de forma ecológica. La evaluación de la salud del suelo se basa en variables de calidad del suelo que garantizan la sostenibilidad de la producción de cultivos en tierras agrícolas. Al respecto, tanto los científicos, como productores y sociedad podemos contribuir sustancialmente a la sostenibilidad global de los suelos agrícolas traduciendo el conocimiento científico sobre la función del suelo en metodologías prácticas que enriquezcan el conocimiento para el beneficio de todos los seres vivos.



Los residuos agrícolas son los restos que quedan después de cosechar los cultivos, puede tratarse de hojas, ramas, tallos y raíces. La incorporación de residuos agrícolas provenientes de cosecha tiene beneficios en la mejora de la



calidad del suelo. La cantidad de residuos de cultivos aumenta cada año según el tamaño de la población. En la actualidad, alrededor del 50% de estos residuos son reincorporados al suelo cada año. Por lo cual, en el desarrollo de este artículo se habla sobre la composición, el contenido de nutrientes, la estructura física de los residuos de cultivos, y aplicaciones en campo. Una buena comprensión de estos efectos es esencial para la gestión sostenible de la agricultura y el medio ambiente.

Características de los residuos agrícolas de cosecha

Composición

Los residuos de cultivos se componen principalmente de celulosa (40 a 50 % en peso), hemicelulosa (15 a 25 % en peso), lignina (20 a 30 % en peso), y menor proporción por proteínas y azúcares solubles (glucosa, fructosa, *et al.*). La celulosa se presenta en forma de cadenas de microfibrillas alineadas paralelamente en la pared celular vegetal unidas por enlaces de hidrógeno entre las cadenas.



En las paredes celulares, la celulosa está rodeada por una monocapa de hemicelulosa e incrustada en una matriz de hemicelulosa y lignina, que forman una estructura tridimensional compleja y estable (Figura 1).

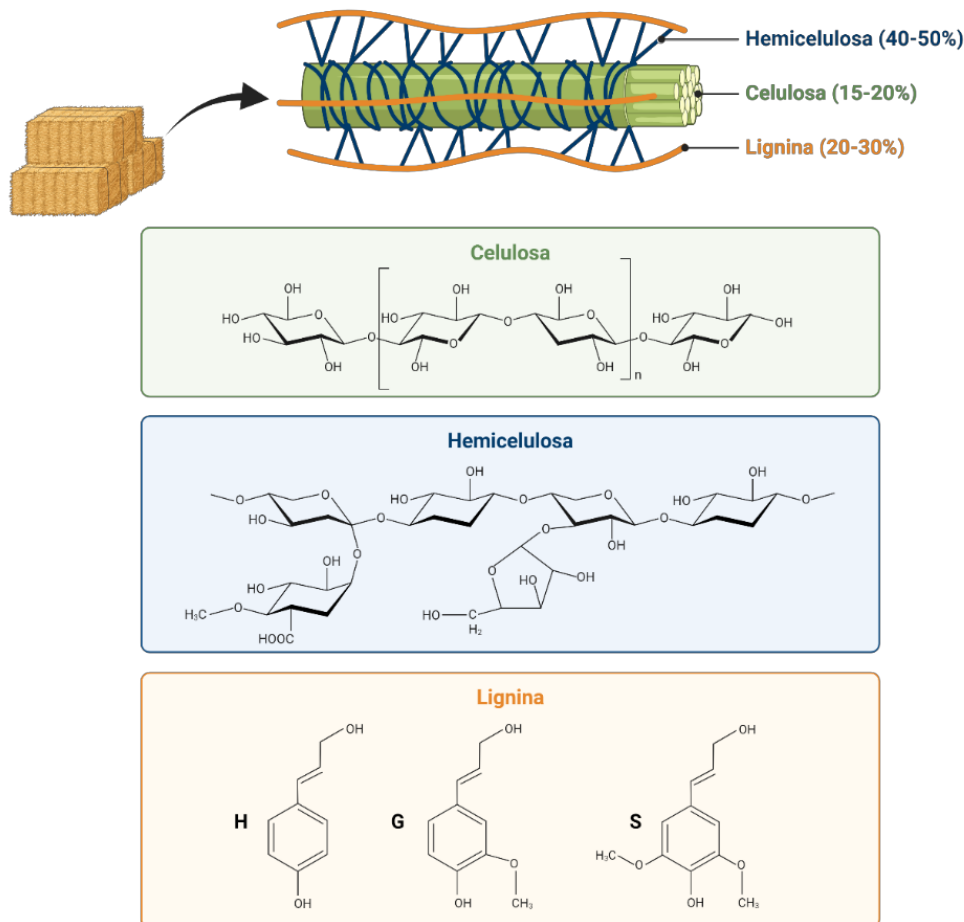


Figura 1. Composición química principal de los residuos agrícolas.

Contenido nutricional

Como biomasa rica en carbono, los residuos de cultivos contienen carbono (40%-45%) principalmente, y en mucha menor cantidad, nitrógeno (0,6%-1%), fósforo (0,45%-2%), potasio (14%-23%) y microelementos. Con ello pueden contrarrestar el desequilibrio de nutrientes en el suelo agrícola y compensar los inconvenientes de los fertilizantes inorgánicos. La tasa de liberación y el contenido de nutrientes están relacionados con las propiedades de los residuos de cultivos (relación C/N y composición química), el clima (temperatura y humedad), las condiciones del suelo (pH y contenido de agua) y el método de aplicación de los residuos de cultivos en suelo (directo e indirecto).





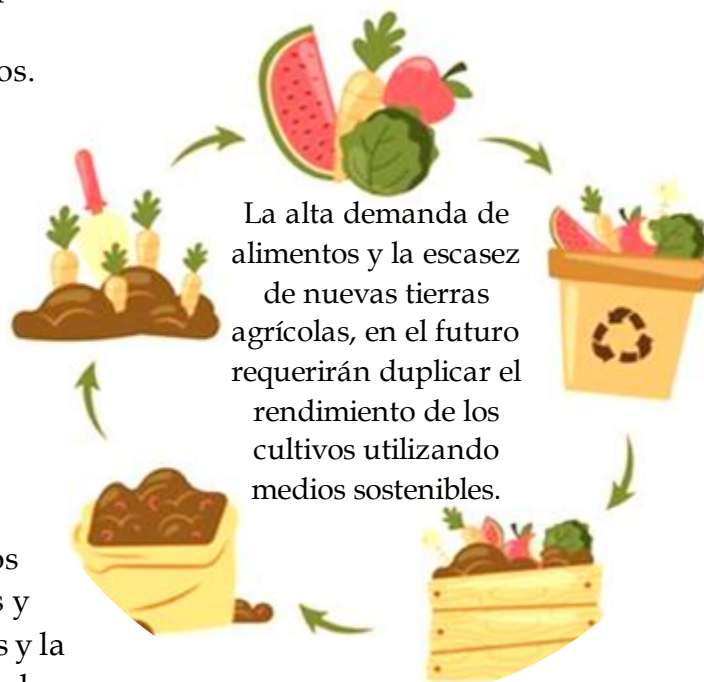
Estructura física

Los residuos de cultivos tienen una estructura tubular distintiva y una pared gruesa con un peso ligero. Sus estructuras huecas están compuestas por paredes celulares y abundantes poros. Las características de la estructura de los poros incluyen principalmente área de superficie específica, volumen

de poros y distribución del tamaño de los poros.

Los diferentes tipos de residuos de cultivos tienen diferentes estructuras de poros. Por ejemplo, la paja de trigo tiene una estructura lineal de múltiples cavidades, que puede formar un puente entre los poros, lo que hace que la conectividad de la estructura de la red porosa sea más compleja. El tamaño medio de los poros es de 13.9 nm y el volumen de poros acumulado es de 0.01 cm³/g.

La densidad aparente refleja la densidad de los residuos de cultivos, que varía según los tipos y su uniformidad. Por ejemplo, los tallos huecos y la epidermis exterior de baja densidad hacen que la densidad aparente de la paja de trigo sea extremadamente pequeña. La paja de maíz también tiene una densidad aparente baja porque está compuesta principalmente de materiales sueltos. La densidad aparente de la paja de soja y los tallos de algodón es mayor debido a su estructura compactada.



Reincorporación de residuos para mejorar el suelo

Efecto en las propiedades físicas del suelo

Reincorporar los residuos agrícolas puede mejorar las propiedades físicas del suelo al aumentar el contenido de humedad, disminuir la densidad aparente y aumentar la porosidad total y la estabilidad de los agregados. El retorno de residuos de cultivos puede aumentar el contenido de humedad al reducir la escorrentía superficial y la evaporación directa, mejorando la conductividad del agua saturada y la infiltración del agua. La densidad aparente puede ser un indicador de los cambios en la estructura. En un estudio en China, la incorporación de 4,500 kg ha⁻¹ de rastrojo de maíz disminuyó la densidad aparente en el perfil de un suelo agrícola.



La porosidad total es una de las propiedades físicas básicas y un índice para la evaluación de la fertilidad y productividad. La porosidad aumenta cuando se mezclan los residuos de cultivos triturados mediante una remoción (arado) profunda. Los aglomerados se vuelven más grandes y estables con la entrada de residuos de cultivos, ya que estos pueden reponer materia orgánica fresca. La proporción de suelos con grandes aglomerados y aglomerados estabilizados con agua revela la capacidad sostenible del suelo.



Efecto en el pH y la capacidad de intercambio catiónico

Los residuos de cultivos pueden tener una gran influencia en el pH del suelo, especialmente aquellos suelos con baja capacidad amortiguadora. Los cambios en el pH están relacionados con el exceso de concentración de cationes, los ciclos de C y N, los tipos de residuos de cultivos y el suelo. La gestión de residuos de cultivos influye alta y significativamente en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. La acumulación de materia orgánica del suelo (MOS) por los residuos de cultivos puede producir más cargas negativas para aumentar la CIC (Figura 2).

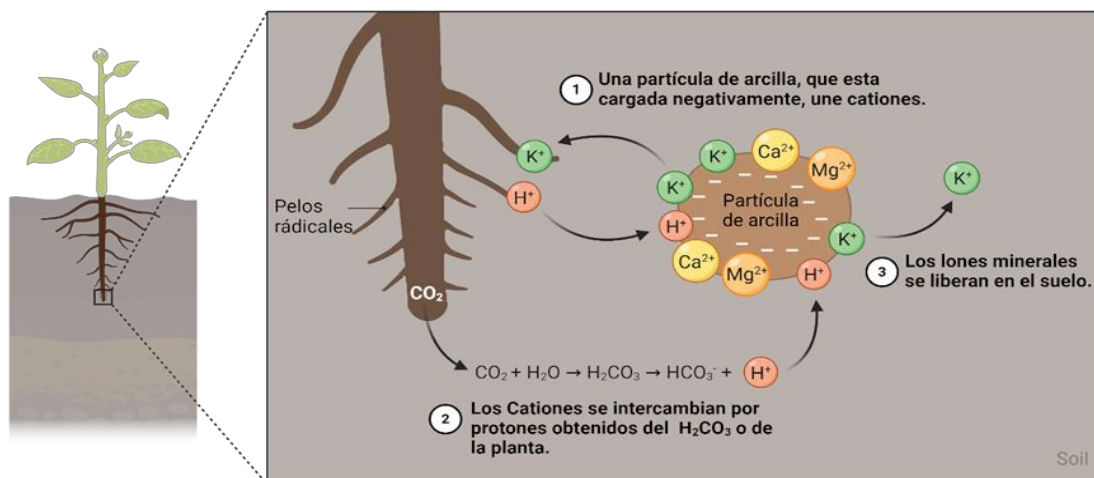


Figura 2. Esquema del proceso y factores involucrados en la Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo.

Efecto en los nutrientes del suelo

Los residuos de cultivos en descomposición se consideran componentes básicos del ciclo de nutrientes. El retorno de residuos de cultivos puede aumentar el contenido de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo disponible y potasio en los suelos. Esos residuos contienen aproximadamente un 40% de carbono orgánico, que puede regular las propiedades del suelo y mejorar su estabilidad mediante la formación de grandes agregados.



El nitrógeno es necesario para la formación de proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos. El nitrógeno de los residuos de cultivos se puede transformar en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) mediante mineralización y nitrificación. El fósforo es un elemento esencial para las reacciones energéticas y la división celular. El fósforo de los residuos de cultivos puede descomponerse en fosfato de hidrógeno (H_2PO_4^-) y fosfato de calcio (CaHPO_4) por microorganismos. El potasio iónico se libera fácilmente de los residuos de cultivos. El aporte de residuos de cultivos contribuye a la acumulación de potasio en el suelo (Figura 3).

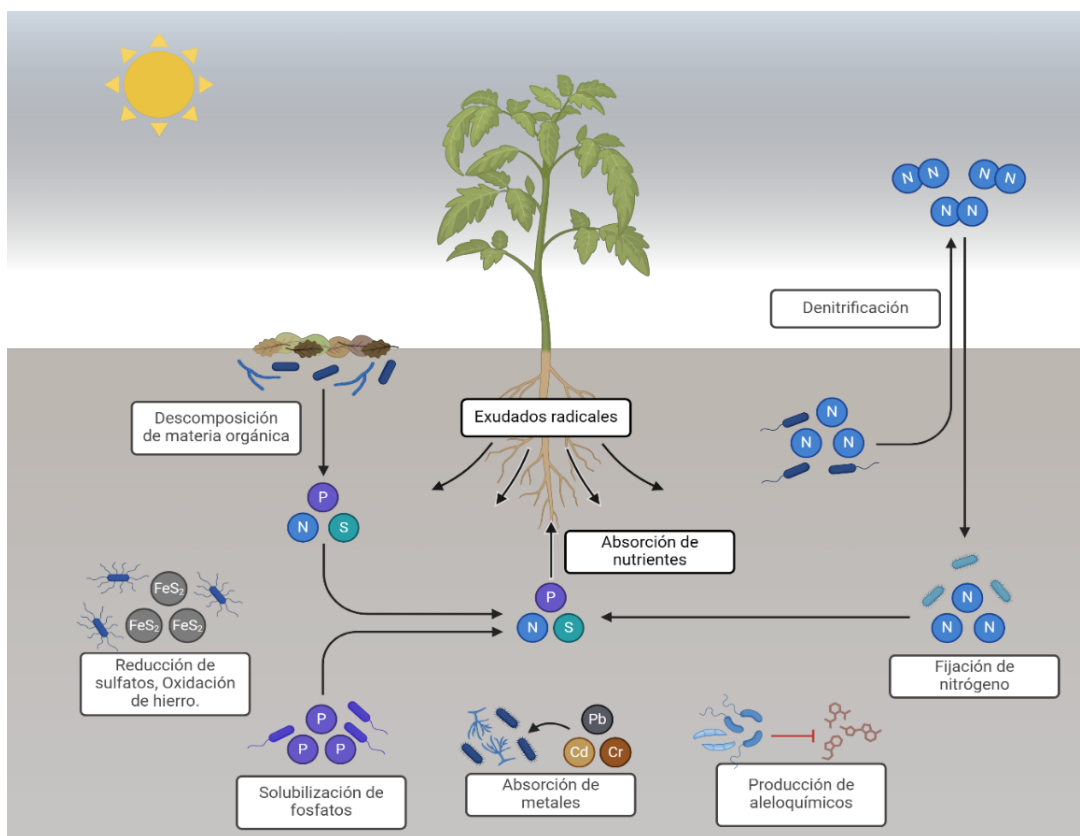


Figura 3. Interacción planta-suelo-microorganismos.

Efecto aleloquímico

Los aleloquímicos son principalmente metabolitos secundarios ligados a los residuos de cultivos, liberados por la descomposición microbiana y por la lixiviación en el suelo. Estos aleloquímicos incluyen compuestos sencillos como azúcares, iones inorgánicos, vitaminas, nucleótidos, aminoácidos y fenólicos, y compuestos complejos como polisacáridos, enzimas y otras proteínas. Los aleloquímicos liberados por los residuos de cultivos tienen efectos adversos o positivos en la próxima cosecha y/o sobre el banco de semillas en el suelo tratado.



Entre los aleloquímicos, los ácidos fenólicos (AF) son las sustancias activas más estudiadas y han sido reconocidas como sustancias alelopáticas. Existe un fenómeno común de que los AF inhiben la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas durante la descomposición de los residuos de los cultivos mediante alelopatía. Los AF se pueden generar en la descomposición de lignina por algunos hongos del suelo (Fig. 3).



Efecto en la actividad microbiana

Las comunidades microbianas del suelo desempeñan un papel importante en los procesos de los ecosistemas del suelo y en el ciclo biogeoquímico de elementos básicos, como el nitrógeno y el carbono. El retorno de los residuos de cultivos puede aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo y proporcionar un buen ambiente para el crecimiento y la proliferación de microorganismos. Estos microorganismos tales como hongos y bacterias, principalmente, intervienen en la descomposición de los residuos de cosecha, la disponibilidad de nutrientes para la planta y en procesos de remediación (adsorción de metales) (Fig. 3).

Aplicaciones prácticas en campo

En la Universidad Autónoma Chapingo, se desarrolla el proyecto “Alternativas agroecológicas orientadas a la sustitución gradual de herbicidas a base de glifosato en frutales y cultivos básicos”, en distintas regiones agroecológicas (Estado de México, Morelos y San Luis Potosí) en donde se evalúan en cultivos de maíz, aguacate y naranja; diferentes prácticas agronómicas para el manejo de arvenses. Con todos los antecedentes mencionados en este artículo, en frutales, una de las prácticas agronómicas evaluadas, desde junio del 2022 en aguacate y junio del 2024 en naranja, es la reincorporación de paja de maíz (Fig. 4).

Para ello, además de variables respuesta en los árboles, se están monitoreando variables físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Según los comentarios personales de los productores cooperantes y los análisis preliminares, hay resultados promisorios en cuanto al manejo de arvenses y en la mejora de los suelos.



Figura 4. Reincorporación de paja de maíz en huerta de Cítricos en Río Verde, San Luis Potosí como alternativa para el manejo de arvenses y mejora de la salud del suelo.



Conclusiones

El aporte de residuos de cultivos es una forma de mejorar la calidad del suelo sin alterar su equilibrio biológico. Su incorporación con el método adecuado es beneficioso para la salud del suelo, lo que favorece el desarrollo sostenible de la agricultura.



Literatura recomendada

Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97

Zhao, H., Shar, A. G., Li, S., Chen, Y., Shi, J., Zhang, X., & Tian, X. (2018). Effect of straw return mode on soil aggregation and aggregate carbon content in an annual maize-wheat double cropping system. *Soil and Tillage Research*, 175, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.012>.

Semblanzas de autores

Tomás Rivas García. Investigador por México comisionado a la Universidad Autónoma Chapingo. Sus líneas de investigación se orientan hacia la microbiología, inocuidad y bio-insumos agrícolas. Ha publicado numerosos artículos de divulgación y difusión en revistas nacionales e internacionales. SNII (México) nivel 1 desde 2020.

Rita Schwentesius-Rindermann. Profesora-Investigadora adscrita a la Universidad Autónoma Chapingo. Líneas de investigación sobre Tianguis y Mercados Orgánicos, y Certificación Orgánica Participativa. Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Tiene numerosas publicaciones científicas y de divulgación. SNII (México) nivel 3.

Benjamín Hernández-Vázquez. Doctor en ciencias en recursos genéticos y productividad - genética. Investigador por México CONAHCYT, comisionado a la Universidad Autónoma Chapingo. Trabaja en manejo agroecológico, conservación y mejora de maíces nativos.

Luis Enrique Vázquez-Robles. Ingeniero en Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo, Técnico asesor particular en producción de aguacate y hortalizas con enfoque ecológico y manejo integral, investigador asociado Conahcyt desde 2022 a la fecha.

Camilo Francisco Campos-Mariscal. Ingeniero en Sistemas Ambientales por el Instituto Politécnico Nacional, investigador asociado CONAHCYT desde 2023 a la fecha.