

## Uso de un digestato elaborado a partir de residuos orgánicos urbanos: evaluación de su efecto en el suelo y en un cultivo de *Raphanus sativus* L.

### Use of a Digestate Prepared with Urban Organic Waste: Evaluation of its Effect on Soil and on a *Raphanus sativus* L. Crop.

Mónica Alejandra Rodríguez Aristizábal,<sup>ac</sup> Mary Luz Yaya Lancheros<sup>ad</sup>,  
Brigitte Alexandra Cifuentes Olaya<sup>be</sup>, Aidee Vanessa Escobar Rojas<sup>bf</sup>

<sup>a</sup> Bacterióloga, MSc. Ciencias Ambientales, MSc Microbiología, Docente Investigadora, Grupo de investigación CEPARIUM, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia

<sup>b</sup> Bióloga, MSc. Biología, PhD. Ciencias Biológicas, Docente Cátedra, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia

<sup>ce</sup> Bacterióloga y Laboratorista Clínico, semillero de investigación NEONATURE.

<sup>c</sup> [malejandrarodriguez@unicolmayor.edu.co](mailto:malejandrarodriguez@unicolmayor.edu.co) | <https://orcid.org/0000-0003-0455-3297>

<sup>d</sup> [myaya@unicolmayor.edu.co](mailto:myaya@unicolmayor.edu.co) | <https://orcid.org/0000-0001-6788-3950>

<sup>e</sup> [bcifuentes@unicolmayor.edu.co](mailto:bcifuentes@unicolmayor.edu.co) | <https://orcid.org/0009-0008-5268-7437>

<sup>f</sup> [avescoabar@unicolmayor.edu.co](mailto:avescoabar@unicolmayor.edu.co) | <https://orcid.org/0009-0008-8341-1580>

**Citation:** Rodríguez Aristizábal, M. A., Yaya Lancheros, M. L., Cifuentes Olaya, B. A., Escobar Rojas, A. V. (2024). *Mutis*, 14(2), 1- 17.  
<https://doi.org/10.21789/22561498.2100>

**Recibido:** 11 de junio de 2024  
**Aceptado:** 13 de agosto de 2024

**Copyright:** © 2024 por los autores. Licenciado para *Mutis*. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

#### RESUMEN

Colombia, considerado un país de vocación agrícola y que históricamente ha dependido de productos agroquímicos para el acondicionamiento fisicoquímico, la fertilización y nutrición del suelo, así como para el control de plagas en los cultivos, no es ajeno a problemáticas como la degradación del suelo, la contaminación ambiental y la pérdida de biodiversidad como consecuencia del uso de estos productos, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. Como alternativa, el uso de bioinsumos a base de microorganismos ha demostrado beneficios en el rendimiento y la sanidad de los cultivos. En ese contexto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el uso de un digestato elaborado con residuos orgánicos urbanos como acondicionador fisicoquímico del suelo. La metodología incluyó la caracterización fisicoquímica del digestato, análisis microbiológicos, pruebas de inocuidad, para detectar la presencia de *Salmonella spp* (Lignières, 1900) y huevos de helmintos, ensayos de fitotoxicidad en la germinación y un bioensayo con plántulas de *Raphanus sativus* L. Los resultados fisicoquímicos indicaron que el digestato es un líquido altamente salino y, en la aproximación a la diversidad microbiológica, se detectaron bacterias amilolíticas. En cuanto a la fitotoxicidad se demostró que el digestato no contiene sustancias que inhiban la germinación, según los análisis estadísticos de Bonferroni y Kruskal-Wallis. Sin embargo, el bioensayo mostró que el digestato no tuvo un impacto significativo en el acondicionamiento del suelo, ya que no se observó mejora en la altura, número de hojas o peso seco de las plántulas. De acuerdo con estos resultados, se concluyó que el digestato obtenido requiere ajustes en el proceso de elaboración. Se recomienda su uso en cultivos con ciclos fenológicos más largos, además de incluir la adición de inóculos microbianos que mejoren su efectividad, así como la mejora de sus propiedades, lo cual podría aumentar su potencial como biofertilizante.

**Palabras clave:** Biofertilizante; digestato; enmienda orgánica; inocuidad; fitotoxicidad; *Raphanus sativus L.*; ciencias naturales.

## ABSTRACT

Colombia is considered a country with an agricultural vocation that has historically depended on agrochemical products for physical and chemical conditioning, fertilization, soil nutrition, and pest control in crops. Unfortunately, the country is not immune to problems such as soil degradation, environmental pollution, and loss of biodiversity as a result of the use of these types of products, which put food security at risk. The use of microorganism-based bioinputs has proven to be a beneficial alternative for crop yield and health. In this context, this work aimed to evaluate the use of a digestate made from urban organic waste as a physicochemical soil conditioner. The methodology included the physicochemical characterization of the digestate, a microbiological analysis, safety tests to detect the presence of *Salmonella* spp (Lignières, 1900) and helminth eggs, phytotoxicity tests in germination, and a bioassay with *Raphanus sativus L.* seedlings. The physicochemical results indicated that the digestate is a highly saline liquid and, in the approximation to the microbiological diversity, amylolytic bacteria were detected. Regarding phytotoxicity, it was shown that the digestate does not contain substances that inhibit germination, according to the Bonferroni and Kruskal-Wallis statistical analyses. However, the bioassay showed that the digestate did not have a significant impact on soil conditioning, since no improvement was observed in the height, number of leaves or dry weight of the seedlings. According to these results, it was concluded that the digestate obtained requires adjustments in the production process. Its use is recommended in crops with longer phenological cycles, in addition to including the addition of microbial inoculants that improve its effectiveness, as well as the improvement of its properties, which could increase its potential as a biofertilizer.

**Keywords:** Biofertilizer; digestate; organic amendment; safety; phytotoxicity; *Raphanus sativus L.*; Natural sciences.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es considerado un país de vocación agrícola, así que no es ajeno al uso de productos agroquímicos para el desarrollo de la agricultura y se conoce que el acondicionamiento para mejorar las características fisicoquímicas del suelo, la nutrición y el control de plagas se han realizado históricamente con base en productos de este tipo. Sin embargo, se ha demostrado el efecto negativo que estos productos pueden tener en las propiedades del suelo, representando una problemática socioambiental a nivel mundial (Goulet & Hubert, 2020). En ese sentido el uso indebido de agentes químicos limita el desarrollo sostenible de la actividad agrícola e incide negativamente sobre la seguridad alimentaria y la preservación del ambiente (Colmenares y Arcia, 2019); además, se ha relacionado con la degradación del suelo y la disminución de la fertilidad y biodiversidad, generando a mediano plazo que la sostenibilidad y productividad de la industria agrícola se vean afectadas (Singh et al., 2019).

El uso de agroquímicos tuvo auge a partir de los años 40, cuando se buscaba garantizar la seguridad alimentaria de una población cada vez mayor. Los

fertilizantes nitrogenados, herbicidas, fungicidas y plaguicidas se distribuían con la promesa de mejorar los cultivos, aumentar los rendimientos y disminuir las plagas (Mamani de Marchese & Filippone, 2018). Las problemáticas ambientales asociadas al uso de agroquímicos incluyen la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, debido a la presencia de remanentes de los fertilizantes químicos y pesticidas con alto contenido de metales pesados y sales, lo cual se ve reflejado en la alta carga de nutrientes como nitrógeno y fósforo que, si bien pueden ser de utilidad para el suelo y/u organismos acuáticos, también afectan el balance de los ecosistemas (Madhav et al., 2020). En consecuencia, la contaminación de las aguas superficiales puede tener efectos ecotoxicológicos sobre la flora y la fauna acuáticas, y sobre la salud humana si se utilizan para el consumo público; para cualquier forma de vida es nocivo el contacto de estas sustancias ya sea a corto o largo plazo (Rathour et al., 2023).

En este contexto, se ha observado una tendencia actual a la reducción de estos productos en países desarrollados; no obstante, se siguen aplicando en forma intensiva en muchos países tropicales (Osumanu & Kosoe, 2023). El uso de agroquímicos ha sido intensivo e indiscriminado y el desconocimiento en algunos casos de las características, toxicidad y riesgos asociados han aumentado el problema, razón por la cual se ha replanteado esta práctica y surge la necesidad de buscar opciones sostenibles y ambientalmente más responsables (Colmenares y Arcia, 2019).

De acuerdo con esto, el uso de microorganismos en bioinsumos se presenta como una alternativa sostenible para reemplazar los agroquímicos. La influencia de los microorganismos en el suelo se ha estudiado desde hace varios años en los sistemas agrícolas rurales, en donde se han descrito los beneficios del uso de estos bioinsumos; sin embargo, es necesario promover su uso en sistemas agrícolas urbanos, con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria y a la disminución de la contaminación ocasionada por el uso de productos de origen químico, además de aprovechar espacios colectivos en las ciudades que pueden tener potencial vocación agrícola (Brochier et al., 2012; Meena et al., 2020; Rashid et al., 2016). Por otra parte, el uso de bioinsumos en la agricultura está estrechamente relacionado con la microbiología, que ha demostrado tener un papel fundamental en el rendimiento y la sanidad de los cultivos (Metson & Bennett, 2015). Se conoce que los microorganismos cumplen una función importante en la calidad del suelo ya que benefician el desarrollo de los cultivos, mejoran la capacidad de fijación de nutrientes y estimulan el crecimiento de la planta (Adetunji et al., 2020; Metson & Bennett, 2015; Sánchez et al., 2017).

La función de los microorganismos en el suelo se ha estudiado con detalle, desde su participación en los ciclos biológicos, el reciclaje de nutrientes, la estructuración del suelo, la resistencia a patógenos, la captación de nutrientes y el crecimiento vegetal, todo lo cual demuestra que su uso bien sea aplicado a través de productos, enmiendas orgánicas o de inoculaciones directas, tiene beneficios para mejorar la calidad de los suelos y de los cultivos. De hecho, la digestión anaerobia de los microorganismos puede liberar biogás y residuos líquidos, como los digestatos, que también pueden ser usados como biofertilizantes para mejorar las características fisicoquímicas del suelo (Adetunji et al., 2020; Sánchez et al., 2017). De acuerdo con lo anterior, se propone la evaluación del uso de un digestato como bioinsumo elaborado a partir de residuos orgánicos urbanos para el acondicionamiento fisicoquímico del suelo y desarrollo de un cultivo de rábano

como modelo experimental, con el fin de contribuir al conocimiento sobre bioproductos y para promover prácticas agrícolas sostenibles en las ciudades, en donde los beneficios pueden incluir la apropiación de los espacios colectivos, el aprovechamiento de los suelos, la disponibilidad de alimentos, la construcción de tejido social en las zonas urbanas y la disminución del uso de agroquímicos, todo esto para fortalecer el desarrollo sostenible y el cuidado al medio ambiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Elaboración del digestato:** la metodología usada fue adaptada de Vega y Poveda (2020), y el digestato fue elaborado en el colegio La Palestina (IED), ubicado en la ciudad de Bogotá en la localidad de Engativá. Se realizó dentro de un biodigestor artesanal, construido por los estudiantes con canecas de plástico adecuadas para el montaje. Se alimentó con residuos de estiércol vacuno, cáscaras de huevo y residuos orgánicos de tipo urbano, teniendo en cuenta una relación de 2 kg de estiércol para 4 L de agua, y el recipiente fue cerrado herméticamente con el fin de realizar un proceso de descomposición anaeróbica y luego de 90 días el contenido fue filtrado primero con una gasa estéril, posteriormente con papel de filtro y luego almacenado para su posterior análisis.

**Caracterización fisicoquímica del digestato:** se determinaron los valores de pH, usando un potenciómetro marca HORIBA H1300 y conductividad eléctrica con el conductivímetro SCHOTT instruments Lab 960. La densidad fue obtenida con picnómetro, teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma técnica NTC 4686 (ICONTEC, 2023). Los nitratos y amonios se determinaron con el método Kjeldahl descrito por el IGAC (2006) (FAO, 2018a; FAO, 2018b).

**Caracterización microbiológica del digestato:** se realizaron aislamientos de microorganismos con actividad proteolítica, celulolítica y amilolítica, con base en técnicas de cultivo convencional usando medios específicos como el agar leche, agar almidón y agar CMC (Abd-Elhalem et al., 2015; Escobar et al., 2012; Guzmán et al., 2015; Ramírez-López & Vélez-Ruiz, 2016).

**Determinación de las características de inocuidad del digestato:** se realizó con base en los criterios microbiológicos establecidos en la resolución 068370 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la metodología de la norma técnica NTC 4574 del 2007, para determinar la ausencia de *Salmonella spp.* De igual manera, se determinó la presencia de coliformes totales <1000 NMP o UFC/g usando la metodología propuesta en la NTC 4939 del 2001; y, finalmente, la determinación de la presencia de huevos de helmintos viables <1 individuo en 4 g de muestra, con base en la NTC 5167 (ICONTEC, 2022).

**Ensayo de fitotoxicidad:** realizado con semillas de rábano. Para evaluar el porcentaje de germinación, las semillas fueron dispuestas en cajas de petri con papel filtro húmedo y llevadas a incubación durante 5 días a 25 °C. El diseño experimental para este montaje fue 5x5X3, así: 5 tratamientos, 100% (50 ml digestato), 50% (25 ml digestato + 25 ml agua), 25% (12.5 ml digestato + 37.5 ml agua), 10% (5 ml digestato + 45 ml agua), 0% (50 ml agua), con 5 repeticiones cada uno, y 3 montajes en diferentes momentos con las mismas características. A partir de los resultados se calcularon porcentaje de germinación relativo, longitud relativa de radícula e índice de germinación.

**Bioensayo con plantas de rábano *Raphanus sativus* L.:** se realizó un bioensayo durante cuatro semanas para evaluar el efecto del digestato en el acondicionamiento fisicoquímico del suelo y el desarrollo de la planta de rábano. Se estableció un diseño experimental aleatorio utilizando 6 tratamientos con 3 repeticiones para cada uno. Los tratamientos usados fueron T1: suelo problema y digestato al 100%; T2: suelo problema y digestato al 50%; T3: suelo problema y digestato al 10%; C1: control positivo crecimiento plántulas de rábano; C2: suelo problema y solución nutritiva convencional; C3: control negativo, donde no se usó digestato. La determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2006) y las variables agronómicas del cultivo determinadas fueron: número de hojas y altura de la planta, usando la observación directa, y el peso inicial, final y seco de la plántula completa obtenido con una balanza electrónica digital marca OHAUS.

**Análisis de datos:** para determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los índices de germinación de los tratamientos se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Por otra parte, el análisis estadístico de la medición de las variables agronómicas se realizó con una ANOVA (previa determinación de parámetros de normalidad y homogeneidad de varianzas), determinando las diferencias significativas entre tratamientos utilizando pruebas de diferencias entre medias (Tukey) aplicando un nivel de confiabilidad del 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica del digestato (tabla 1), se determinó que este puede categorizarse como agua altamente salina: no puede usarse en suelos con drenaje restringido y aún con buen drenaje, puede ser necesario implementar prácticas de manejo para el control de la salinidad y utilizar cultivos tolerantes a sales. De acuerdo con el protocolo definido por el laboratorio de suelos del Centro de Biosistemas de la UJTL, también se establece que es agua baja en sodio y que puede utilizarse para irrigación, sin riesgo de que se produzcan problemas niveles perjudiciales de sodio intercambiable.

**Tabla 1.** Análisis Fisicoquímicos digestato

Elemento analizado	pH	CE	K	Ca	Cationes (mg *L <sup>-1</sup> o ppm)			Suma cationes
					Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	
Resultado	6.5	1.52	185.8	86.9	64.9	16.0	24.8	
Resultado en meq/L			4.76	4.35	5.41	0.69	1.77	17.04
Elemento analizado	H-NO <sub>3</sub>	Cl	S	HCO <sub>3</sub>	Aniones (mg *L <sup>-1</sup> o ppm)			Suma aniones
					CO <sub>3</sub>	RAS	Fe	
Resultado	20.5	127.5	57.41	500.8	0.0	0.31	1.33	16.86
Resultado en meq/L	1.47	3.59	3.59	8.21	0.00			

**Categorización C3-S1.** Resultados análisis de agua para riego y soluciones nutritivas (Realizado en el laboratorio de suelos y aguas del Centro de Biosistemas, Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, 2023).

Teniendo en cuenta la concentración de sal del digestato, este puede utilizarse para irrigación, mejorando la fertilidad del suelo; sin embargo, es importante considerar las características de los cultivos para definir el uso de biofertilizantes como el digestato evaluado en este estudio. La presencia de microorganismos patógenos como *Salmonella spp* (Lignières, 1900) y *Escherichia coli* (Migula 1895), en el digestato, indican una inadecuada higiene antes o durante el proceso de digestión, en el cual es necesario se alcancen los 70 °C de temperatura por 60 minutos en partículas <12 mm para disminuir microorganismos patógenos. Al no cumplirse estos parámetros se pueden presentar malos olores, nitrato y amonio al medio ambiente (Torres & Capote, 2004). La proliferación de estos microorganismos en bioproductos es común ya que son elaborados con restos vegetales y/o animales, los cuales llegan a ser hospedaje en su ciclo de vida, por lo que es recomendable tener en cuenta la procedencia y tipos de insumos a usar, que sean sometidos a procesos de fase termófila y de estabilización de la materia orgánica, con el fin de tener un control ante su presencia y proliferación, evitando así riesgo para el ser humano. Para conseguir un buen proceso de digestión anaerobia óptimo se destacan diversos parámetros que se deben tener en cuenta, como el pH, tiempos de residencia, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales, sólidos volátiles, temperatura, concentración de sustrato, biomasa, tamaño de partícula del sustrato y relación sustrato/inóculo (Colmenares y Arcia, 2019).

En la caracterización microbiológica cualitativa de grupos funcionales se observó que no hubo microorganismos con actividad proteolítica, ni celulolítica, a pesar de que el montaje se realizó por triplicado, siendo necesario hacer ajustes en algunas condiciones; por otra parte, con relación a la actividad amilolítica, se pudo observar la formación de halos de hidrólisis luego de añadir lugol, con lo cual se podría confirmar la presencia de colonias con actividad enzimática amilolítica (Figura 1).

**Figura 1.** a) Halos de hidrólisis en agar almidón, presencia de colonias con actividad enzimática amilolítica. b) No se observan halos en el agar leche. c) No se observan halos en el agar CMC.



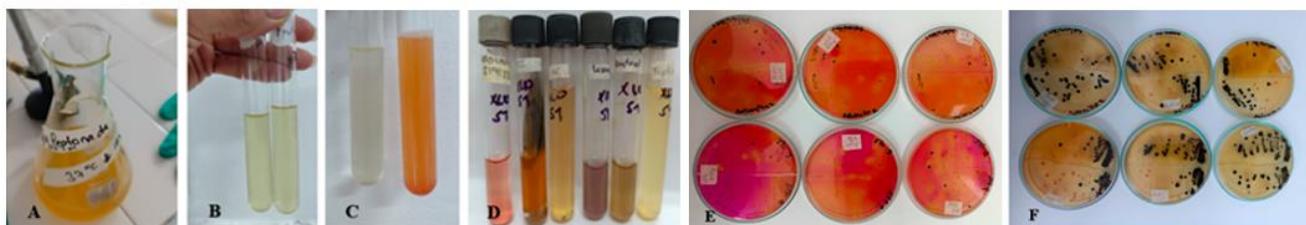
Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, dentro de las cualidades de los biofertilizantes, la capacidad enzimática de las bacterias que permite la degradación de macromoléculas es fundamental. Para este ensayo se utilizaron agar leche, agar carboximetilcelulosa (CMC) y agar almidón para evaluar la presencia de grupos funcionales. Los resultados en el agar almidón permitieron verificar la degradación del almidón por las bacterias presentes en el digestato, esta actividad enzimática se observó con la presencia de los halos alrededor de las colonias que indican la hidrólisis del almidón (Abd-Elhalem et al., 2015). Para evaluar la actividad celulolítica en el agar CMC tras agregar el

revelador rojo congo no se evidenció la presencia de halos alrededor de las colonias por lo que se puede inferir que la población bacteriana presente en el digestato en el momento del ensayo no tiene esta capacidad enzimática (Gupta et al., 2012). En la determinación de la actividad proteolítica no se evidenciaron los halos de hidrólisis en el agar leche; en ese sentido, es posible que las condiciones ambientales y/o de almacenamiento del digestato tuvieran influencia directamente en la actividad enzimática y metabólica de los microorganismos (Gupta et al., 2012; Soria Noroña, 2020).

Con relación a las características de inocuidad, y con base en la metodología propuesta, para *Salmonella spp.* se determinó que después del tiempo de incubación en agar XLD (Xilosa Lisina Desoxicolato) se presentaron colonias con centro negro, características de las bacterias que producen ácido sulfhídrico y zona ligeramente transparente de color rojizo, indicando fermentación de la xilosa y sugerentes del género *Salmonella spp.*, otras colonias rosas con un centro más oscuro también sugerentes de especies de *Salmonella spp.*, pero que no presentan producción de ácido; además, colonias amarillas con producción o no de ácido sugerentes de especies lactosa positivas (Figura 2).

**Figura 2.** Metodología para evaluar la inocuidad. **a)** Caldo peptonado para pre-enriquecimiento no selectivo. **b)** Caldo T<sub>MC</sub> sin incubar. **c)** Enriquecimiento selectivo en caldo Selenito y T<sub>MC</sub> para *Salmonella spp.* **d)** Batería de bioquímicas de izquierda a derecha: Control lisina, lisina, caldo triptófano, caldo VP, Urea y TSI.; e-f) Aislamiento selectivo agar XLD y SS, 2023.



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la determinación de coliformes totales (<1000 NMP o UFC/g) reveló que en la prueba presuntiva con caldo lauril triptosa, tras la inoculación y posterior incubación de las muestras en diferentes volúmenes (A: 0.1 ml, B: 1 ml, y C: 10 ml), se observó crecimiento bacteriano, acidificación y turbidez en el medio, obteniéndose resultados positivos en las tres concentraciones. En la prueba confirmatoria con caldo bilis verde brillante, se registraron cambios tras el tiempo de incubación, con producción de gas en la campana de Durham y turbidez del medio, lo que indica un resultado positivo para coliformes, con un recuento de 1600 NMP/100 ml.

Con relación a la presencia de huevos de helmintos viables se encontró 1 individuo en 4 g de muestra, confirmando la presencia de un huevo de nemátodo. Es importante aclarar que este trabajo es una aproximación realizada con base en las normas y disposiciones colombianas, y no una metodología con fines de registro y control de bioinsumos; sin embargo, se compararon los parámetros solicitados según la Resolución No. 068370 (27/05/2020) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Resultados obtenidos vs. los parámetros para registro y control de bioinsumos en Colombia.

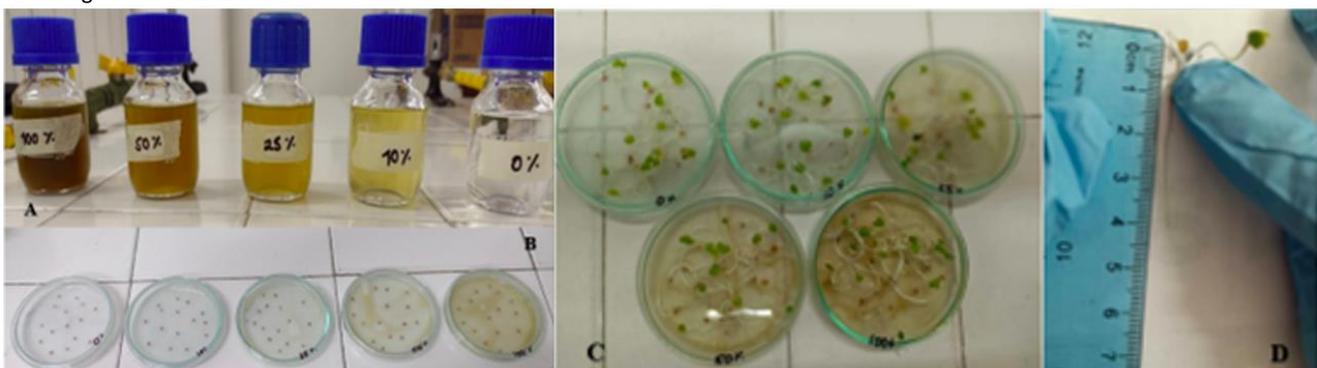
Parámetro	Resultado digestato	Cumplimiento
Ausencia de Salmonella en 25 gramos	Presencia de <i>Salmonella spp.</i>	No
Coliformes totales <1000 NMP o UFC/g	1600 NMP/100 ml	No
Huevos de Helminto viables <1 individuo en 4 g de muestra	1 individuo de nematodo en 4 g muestra	No

Fuente: adaptado de Resolución No. 068370 (27/05/2020).

La presencia de huevos de helmintos en aguas para riego de cultivo según la OMS debería ser de menores de 1 huevo por litro, al igual que en la Resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente. También se consideran normas de United States Environmental Protection Agency (EPA), Decreto 1287 del 2014 por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia y NTC 5167 del 2022 que establece límites en el contenido de huevos de helmintos en biosólidos utilizados en agricultura y considera admisible un límite máximo de 1 huevo por cada 4 g de sólidos totales; concentraciones superiores a estas son catalogadas como contaminación fecal con una prevalencia debido a que estos microorganismos presentan alta resistencia a condiciones ambientales, cargas mínimas de dosis infectivas como también largos periodos de supervivencia, considerándose de gran importancia en salud pública. La importancia de aplicar estas normas reside en el alto riesgo de contagio, tanto por contacto directo o indirecto en el manejo del digestato como por el consumo de alimentos que se consumen crudos (Mamani de Marchese & Filippone, 2018).

Para determinar la fitotoxicidad en semillas de rábano, y con base en las pruebas estadísticas de Bonferroni y Kruskal-Wallis, se determinó que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos con relación a la variable de la longitud de la radícula. En la Figura 3 se observan las imágenes de la metodología y resultados del montaje y en la Tabla 3 se observan los porcentajes de germinación, longitud de radícula y el índice de germinación (IG) y nivel de fitotoxicidad.

**Figura 3.** Montaje ensayo fitotoxicidad. **a)** soluciones con diferentes concentraciones del digestato. **b)** Semillas de rábano inoculadas con las concentraciones del digestato, montaje inicial. **c)** Semillas de rábano posterior a incubación de 35°C durante 72 h. **d)** Medición de la longitud de radículas.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3.** Fitotoxicidad en semillas de rábano.

No. ensayo	Concentraciones digestato	Porcentaje de germinación	Longitud de la radícula	Índice de germinación	Fitotoxicidad
1	100 %	100%	128%	128%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	50%	100%	126%	126%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	25%	100%	134%	134%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	10%	98%	144%	141%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
2	100 %	100%	104%	104%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	50%	100%	118%	118%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	25%	100%	129%	129%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	10%	100%	136%	136%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
3	100 %	100%	60%	60%	Presencia moderada de sustancias fitotóxicas
	50%	100%	71.8%	71.8%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	25%	100%	77.9%	77.9%	Ausencia de sustancias fitotóxicas
	10%	100%	95.2%	95.2%	Ausencia de sustancias fitotóxicas

Fuente: elaboración propia.

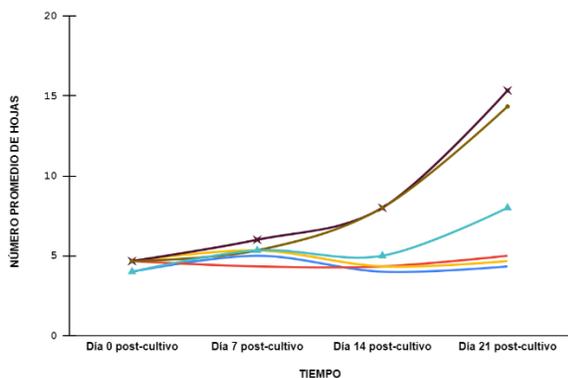
Para los análisis de fitotoxicidad dados los índices de germinación y longitud radicular de las semillas de rábano (Ghosh et al., 2014) se determinó que el digestato no contiene sustancias con efecto fitotóxico que puedan llegar a inhibir el crecimiento de estas. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de las diferentes concentraciones del digestato con relación a la variable longitud de radícula (Tabla 3), excepto en la tercera repetición en las cuales se ven disminuidas. De acuerdo con estos resultados, al no existir una disminución considerable en el crecimiento de la radícula en las tres diferentes repeticiones de los ensayos, no existe una relación directa con la presencia de metabolitos fitotóxicos propios del digestato generados durante el proceso de fermentación (Varnero et al., 2007, Urriola et al., 2021).

**Bioensayo con plántulas de rábano:** se encontró con respecto al número de hojas un aumento en cada una de las mediciones; sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) (Figura 4). Se observó que en T1, T2 y T3 en los que se utilizó el digestato a concentraciones de 100, 50 y 10% respectivamente, no se presentó mayor variabilidad; por otra parte, en los tratamientos C1 y C2, que corresponden a los controles positivos del bioensayo, se obtuvo el mayor desarrollo de hojas en promedio a lo largo del tiempo. En cuanto al tratamiento C3 que corresponde al control negativo, tampoco se observó una variabilidad significativa ( $p < 0,005$ ) frente a los otros tratamientos.

Para la altura promedio de los tallos medida en centímetros a lo largo del tiempo, los tratamientos T1, T2 y T3 no mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el crecimiento. En contraste, los tratamientos C1 y C2 lograron las mayores alturas promedio: a los 7 días, C1 alcanzó 7,6 cm y C2 7,8 cm; a los 15 días, C1 llegó a 13 cm y C2 a 11,5 cm; y a los 21 días, C1 alcanzó 16 cm y C2 12,5 cm. El tratamiento C1, que

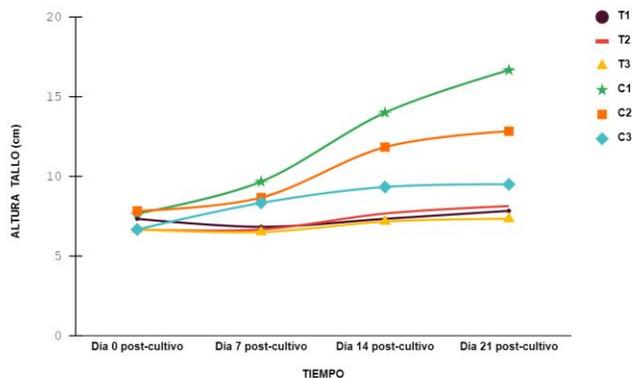
utilizó suelo en óptimas condiciones, destacó especialmente. En cuanto al tratamiento C3, el control negativo, se observó un desarrollo óptimo de los tallos (Figura 5).

**Figura 4.** Número de hojas promedio por tratamiento durante todo el montaje.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.** Altura promedio por tratamiento durante todo el montaje.



Fuente: elaboración propia.

Para la variable peso, se determinaron los pesos iniciales, finales y secos de las plántulas usadas para cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Se encontraron valores similares al iniciar el montaje; pero al finalizar, en los controles positivos C1 y C2, se obtuvieron los pesos más altos en comparación con los T1, T2 y T3, en donde se evidenció pérdida de peso, cuya diferencia está relacionada con el uso de suelo en buenas condiciones en el tratamiento C1 y, en el caso del tratamiento C2, podría atribuirse al uso de la solución fertilizante convencional. Al finalizar el bioensayo se realizaron análisis fisicoquímicos de los suelos usados, en donde particularmente era importante analizar los resultados para el T1, T2, T3 y C2, ya que en estos se usó el suelo problema. En la Tabla 5, se muestra el resumen de los resultados obtenidos de este estudio físico químico. Con relación a los parámetros físicos del suelo como el color, en este caso amarillo, y la textura que presentó una relación arena 70%, limo 12% y arcilla 18%, no se evidenciaron cambios post tratamiento.

Los datos relacionados con los parámetros químicos que se observan en la tabla 4, muestran que, en comparación con las condiciones óptimas, hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), aunque en todas las unidades experimentales posttratamiento se evidenciaron cambios con respecto a los valores obtenidos en el suelo para estos mismos parámetros antes de iniciar el montaje. Estos se observan en la tabla 5 (Suelo Inicial).

**Tabla 4.** Peso (gramos) promedio de las plántulas de rábano en distintos tratamientos

T1			T2			T3			C1			C2			C3		
PI	PF	PS	PI	PF	PS	PI	PF	PS	PI	PF	PS	PI	PF	PS	PI	PF	PS
6,9	2,6	0,09	6,6	3,7	0,3	5,8	2,3	0,2	6,7	24	1,9	6,9	14,8	1,4	7,7	4,1	0,3

\* T1: Suelo problema y digestato al 100%. T2: Suelo problema y digestato al 50%. T3: Suelo problema y digestato al 10%. C1: Control positivo crecimiento plántulas de rábano. C2: Suelo problema y solución nutritiva convencional. C3: Control negativo, en donde no se usó digestato.

PI: peso inicial. PF: peso final húmedo. PS: peso seco

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Resumen de los análisis fisicoquímicos determinados para cada uno de los suelos tratados en el montaje.

Parámetros	pH	CE	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Suelo inicial	5,3	0,09	4,9	81	64	37	7	3,52	4,9	4,4	0,5	0,6	0,01
T1	4,8	0,20	49,7	49	246	67	43	1,47	7,4	9,3	0,4	3,6	0,04
T2	4,8	0,17	39,0	82	233	47	32	1,30	8,4	9,2	0,1	3,8	0,02
T3	4,8	0,23	43,2	102	334	62	57	1,25	7,6	10,0	0,2	3,8	0,03
C2	4,4	0,88	70,8	199	339	97	41	1,13	14,4	8,9	0,5	2,5	0,04
Óptimo*	6,1	0,47	2,8	464	1083	184	21	0,00	76,9	1,7	0,2	1,6	0,56

\***Óptimo:** Base de datos Laboratorio de suelos y aguas a través del análisis de agua para riego y soluciones nutritivas. Resultados obtenidos en el Laboratorio de suelos y aguas a través del análisis de agua para riego y soluciones nutritivas.

Fuente: Centro de Biosistemas (Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, 2023).

Con relación a las variables agronómicas cualitativas como clorosis, marchitez, entorchamiento y cambios en la morfología de las hojas, se pudo observar que, aunque hubo crecimiento en altura y aumento en el número de hojas (figuras 4 y 5), con respecto al control positivo sí se observaron diferencias significativas ( $p > 0,005$ ); en los tratamientos C1 y C2, que corresponden a los controles positivos del bioensayo, se obtuvo el mayor desarrollo de hojas en promedio a lo largo del tiempo (figuras 4 y 5 y Figura 6 -T5), resultado esperado teniendo en cuenta que el C1 corresponde a un suelo con características diferentes, usado con el propósito de observar el crecimiento normal de la planta de rábano y C2, aunque corresponde al suelo problema, tiene como solución nutritiva un producto convencionalmente usado en este tipo de cultivos. Por otra parte, en todos los tratamientos se evidenció clorosis y afectación de las hojas posiblemente ocasionada por insectos (Figura 6).

**Figura 6.** Bioensayo con plantas de rábano (*Raphanus sativus*). Se observa el montaje completo y los tratamientos en el día 21 postratamientos.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los resultados obtenidos en el bioensayo, varios estudios en los que se han usado productos similares al digestato, derivados de la fermentación de la porquinaza y la gallinaza, han confirmado el buen desarrollo de la planta de rábano, específicamente hablando de variables como la altura de la planta y el número de hojas (Mortola et al., 2019); sin embargo con este trabajo se encontró que para las tres concentraciones usadas en los tratamientos T1, T2 y T3, no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en cuanto a la altura, número de hojas y peso alcanzado. Esto, sumado a los resultados obtenidos en los controles C1 y C2, demuestra que el aporte nutricional brindado por la adición del digestato no es representativa debido a su baja concentración de nutrientes, lo cual también se observa en los parámetros fisicoquímicos obtenidos (Tabla 5). Respecto a los parámetros fisicoquímicos, particularmente la textura, no se encontraron diferencias después del tratamiento. Esto es relevante, ya que el tipo de textura influye en la abundancia y distribución de los microorganismos, así como en las interacciones entre planta y microorganismos, lo que a su vez afecta la fisiología de las raíces y la estructura del suelo, especialmente en aquellos con tendencia a compactarse, tal como se observó en el bioensayo realizado (Gebauer et al., 2021; Liu et al., 2020). Además, el pH ácido del suelo desempeña un papel crucial en la disolución de elementos y en la liberación de nutrientes por acción microbiana. Se ha descrito que, en suelos ácidos, elementos como el aluminio y el hierro son más solubles al combinarse con fósforo, formando compuestos poco aprovechables por las plantas. En cuanto al nitrógeno, su mayor disponibilidad ocurre en suelos con pH más neutro, lo que implica que los nutrientes no fueron totalmente aprovechados por la planta debido a este factor (Instituto Colombiano Agropecuario, Subgerencia de Investigación, Programa de Suelos, 1982).

Aunque los resultados (Tabla 5 y figuras 4 y 6) muestran que el digestato no tuvo impacto en el aporte de nutrientes al suelo, lo que podría deberse a las características propias de este biofertilizante. Al igual que los fertilizantes químicos, el digestato parece liberar nutrientes de manera lenta, lo que se reflejó en un estancamiento severo en el crecimiento de las plantas.

Dado que el rábano es un cultivo de ciclo corto, se sugiere realizar futuros ensayos en cultivos de ciclo más largo, lo que permitiría observar los efectos del digestato después de un periodo de aplicación más prolongado (Locoli et al., 2019;

Mortola et al., 2019; Vega et al., 2020). La digestión anaeróbica y sus subproductos son una excelente alternativa para una mejor biodisponibilidad de residuos orgánicos, permitiendo su aprovechamiento y disminución del impacto ecológico, debido a que son considerados una fuente importante de nutrientes para los cultivos y pilar fundamental en la agricultura sostenible desarrollada desde los años 40 (Đurđica Kovačić et al., 2022; Mamani de Marchese & Filippone, 2018). Aunque con estas estrategias se busca minimizar el uso de los fertilizantes químicos, también se resalta o recomienda una combinación con diversos productos, ya sean de origen químico o biológico (compost) para su mayor rendimiento e impacto positivo, así como potenciar el efecto de un digestato agregando microorganismos, como los ME que tienen bacterias ácido Lácticas (*Lactobacillus spp*), bacterias fotosintéticas, (*Rhodospseudomonas spp*) y levaduras (*Saccharomyces spp*), como inóculo que permita mejorar las características propias de este bioinsumo y beneficiar el suelo (Lee et al., 2021; Tan et al., 2020).

## CONCLUSIONES

La evaluación del digestato demostró que, con relación a los parámetros fisicoquímicos, este producto está clasificado como agua altamente salina, por lo cual su uso es restringido, y se deben considerar factores determinantes de cada cultivo. Por otra parte, la evaluación microbiológica reveló la presencia de bacterias amilolíticas; sin embargo, no se encontró mayor biodiversidad.

En cuanto a la inocuidad, los parámetros evaluados demuestran que el proceso de elaboración del digestato debe ser ajustado, pues se encontró la presencia de bacterias asociadas con *Salmonella spp* y Coliformes totales, así como huevos de helmintos. Además, en el ensayo de fitotoxicidad, el uso del digestato no evidenció diferencias significativas y tampoco se presentaron efectos tóxicos en la germinación de las semillas. Finalmente, se concluye que el digestato no mostró un impacto significativo en el aporte de nutrientes al suelo, ni al desarrollo de la planta de rábano, y su comportamiento es consistente con el de otros biofertilizantes de liberación lenta.

## RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que la planta de rábano es de ciclo corto, este montaje podría realizarse en otro tipo de cultivo, con lo cual luego de un tratamiento más largo con el digestato podrían observarse otros resultados. Así mismo, sería interesante evaluar una combinación de tratamientos de origen químico y/o biológico para mejorar y potenciar el rendimiento e impacto positivo del digestato. El uso de microorganismos también podría contribuir con las características propias de este bioinsumo y beneficiar el suelo.

Los resultados de este trabajo son importantes para futuras investigaciones, ya que sugieren que la efectividad del digestato podría depender de un periodo de aplicación más prolongado o de condiciones específicas para maximizar su impacto en la fertilización del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen de manera especial a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, el Centro de Biosistemas de la Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano y al Colegio La Palestina (IED) ubicado en la ciudad de Bogotá en la localidad de Engativá. Gracias por sus valiosos aportes para el desarrollo y finalización de este proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

Abd-Elhalem, B. T., El-Sawy, M., Gamal, R. F., & Abou-Taleb, K. A. (2015). Production of amylases from *Bacillus amyloliquefaciens* under submerged fermentation using some agro-industrial by-products. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.06.001>

Adetunji, D. A., Obideyi, O. A., Evinemi, O. T., & Adetunji, O. A. (2020). Phytotoxicity assessment of compost-type Biofertilizer using Co-Composting and Post Composting Fortification Methods. *Asian Journal of Agriculture and Food Science*, 8 (3) <https://doi.org/10.24203/ajafs.v8i3.6240>

Brochier, V., Gourland, P., Kallassy, M., Poitrenaud, M., & Houot, S. (2012). Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 160, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.021>

Colmenares-Lima, G. T., & Arcia-Montezuma, M. A. (2019). Gestión sostenible para la producción de biofungicidas y fortalecimiento del sector de bioinsumos agrícolas venezolano. *Revista Científica*, 10 (1), 26-40. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.392>

Đurđica Kovačić, Zdenko Lončarić, Jurica Jović, Danijela Samac, Brigita Popović, & Marina Tišma. (2022). Digestate Management and Processing Practices: A Review. *Applied Sciences*, 12(18), 9216. <https://doi.org/10.3390/app12189216>

Gebauer, L., Bouffaud, M., Ganther, M., Yim, B., Vetterlein, D., Smalla, K., Buscot, F., Heintz-Buschart, A., & Tarkka, M. T. (2021). Soil Texture, Sampling Depth and Root Hairs Shape the Structure of ACC Deaminase Bacterial Community Composition in Maize Rhizosphere. *Frontiers in Microbiology*, 12, 616828. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.616828>

Ghosh, P., Dash, P., Sarker, R., Mannan, M., & Abdul Mannan. (2014). Effect of Salinity on Germination, Growth and Yield of Radish (*Raphanus Sativus L.*) Varieties. *International Journal of Biosciences*, 5(1), 37-48. <https://doi.org/10.12692/ijb/5.1.37-48>

Goulet, F. and Hubert, M. (2020), Making a Place for Alternative Technologies: The Case of Agricultural Bio-Inputs in Argentina. *Rev Policy Res*, 37: 535-555. <https://doi.org/10.1111/ropr.12384>

Gupta, P., Samant, K., & Sahu, A. (2012). Isolation of Cellulose-Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. *International Journal of Microbiology*, 2012, 578925-5. <https://doi.org/10.1155/2012/578925>

ICONTEC (2021). NTC 5167:2021. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.

ICONTEC (2021b). NTC 5527:2021. Fertilizantes. Análisis fisicoquímicos básicos.

ICONTEC (2023). NTC 4686:2023. Fertilizantes líquidos. Examen visual preliminar y preparación de muestras para ensayos físicos.

Instituto Colombiano Agropecuario y Ministerio de Agricultura de Colombia (2022). Productos Bioinsumos Registrados. s.l.:s.n.

Instituto Colombiano Agropecuario y Ministerio de Agricultura de Colombia (2020). Resolución No. 068370.

IGAC. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos IGAC (6th ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Instituto Colombiano Agropecuario, Subgerencia de Investigación-división de agronomía, programa de suelos. (1982). Fertilidad de suelos y fertilizantes.

Iocoli, G. A., Zabaloy, M. C., Pasdevicelli, G., & Gómez, M. A. (2019). Use of biogas digestates obtained by anaerobic digestion and co-digestion as fertilizers: Characterization, soil biological activity and growth dynamic of *Lactuca sativa* L. *The Science of the Total Environment*, 647, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.444>

Lee, M. E., Steiman, M. W., & St. Angelo, S. K. (2021). Biogas digestate as a renewable fertilizer: effects of digestate application on crop growth and nutrient composition. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(2), 173-181. <https://doi.org/10.1017/S1742170520000186>

Liu, J., Wang, X., Fang, W., Yan, D., Han, D., Huang, B., Zhang, Y., Li, Y., Ouyang, C., Cao, A., & Wang, Q. (2020). Soil properties, presence of microorganisms, application dose, soil moisture and temperature influence the degradation rate of Allyl isothiocyanate in soil. *Chemosphere*, 244, 125540. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125540>

Madhav, S. et al. (2020). Water Pollutants: Sources and Impact on the Environment and Human Health. In: Pooja, D., Kumar, P., Singh, P., Patil, S. (eds) *Sensors in Water Pollutants Monitoring: Role of Material. Advanced Functional Materials and Sensors*. Springer link. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_4)

Mamani de Marchese, A., & Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista Agronómica Del Noroeste Argentino*, 38(1), 9-21. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-369X2018000100001&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2018000100001&lng=en&tlng=en)

Meena, R., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M., Yadav, G., Jhariya, M., Jangir, C., Pathan, S., Dokulilova, T., Pecina, V., & Marfo, T. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. *Land*, 9(2), 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>

Metson, G. S., & Bennett, E. M. (2015). Phosphorus Cycling in Montreal's Food and Urban Agriculture Systems. *PLoS ONE*, 10(3), e0120726. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120726>

Mortola, N., Romaniuk, R., Cosentino, V., Eiza, M., Cagano, P., Rizzo, P., Bres, P., Riera, N., Roba, M., Butti, M., Sainz, D., & Brutti, L. (2019). Potential Use of a Poultry Manure Digestate as a Biofertiliser: Evaluation of Soil Properties and *Lactuca sativa L* Growth. *Pedosphere*, 29(1), 60-69. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60057-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60057-8)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2018a). Propiedades Físicas del Suelo.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2018b). Propiedades químicas del Suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Osumanu, I.K., Kosoe, E.A. (2023). Global Biodiversity Decline and Loss from Agricultural Intensification Through Agrochemical Application. In: Ogwu, M.C., Chibueze Izah, S. (eds) One Health Implications of Agrochemicals and their Sustainable Alternatives . Sustainable Development and Biodiversity, vol 34. *Springer*. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-3439-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-99-3439-3_3)

Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., & Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>

Rathour, D., Shah, S., Khan, S., Singh, P. K., Srivastava, S., Singh, S. B., & Khatri, D. K. (2023). Role of gut microbiota in depression: Understanding molecular pathways, recent research, and future direction. *Behavioural Brain Research*, 436, 114081. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114081>

Sánchez, Ó J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management (Elmsford)*, 69, 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>

Singh, D. P., Prabha, R., Renu, S., Sahu, P. K., & Singh, V. (2019). Agrowaste bioconversion and microbial fortification have prospects for soil health, crop productivity, and eco-enterprising. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8 (1), 457-472. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0243-0>

Soria Noroña, L. C. (2020). Evaluación prospectiva de la actividad proteolítica en bacterias provenientes de los pantanos artificiales de aguas residuales, Shushufindi-Ecuador. Polo del Conocimiento: *Revista científico - profesional*, 5(5), 345-379. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=9071222>

Tan, W., Liu, P., Zhang, X., & Xi, B. (2020). Effect of matured compost and exogenous microbial inoculants on the composting process of digestate eluted from dry anaerobic digestion. IOP Conference Series. *Earth and Environmental Science*, 569(1), 12025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/569/1/012025>

Torres, D., & Capote, T. (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 13(3). <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=1196547>

Urriola, L., Montes Castillo, K., & Díaz Vergara, M. (2021). Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus*). *Revista Semilla Del Este*, 1(2), 1-11. [https://uptv.up.ac.pa/index.php/semilla\\_este/article/view/2118](https://uptv.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/2118)

Varnero M, M. T., Rojas A, C., & Orellana R, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003>

Vega C., L. T., Vega C., D. A., & Poveda A, F. A. (2020). Evaluación de un digestato como fertilizante orgánico. *Idesia*, 38(3), 87-96. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300087>