

Valor agronómico del uso de compost de camas porcinas en el cultivo de lechuga



Agronomic value of using deep-litter compost in lettuce cultivation

Bonel, Beatriz*

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
bbonel@unr.edu.ar

 /0000-0002-9091-9795

Balaban, David

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
david.balaban@unr.edu.ar

 /0009-0000-1515-4422

Grasso, Rodolfo

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
rgrasso@unr.edu.ar

 /0000-0002-0942-9204

Legno, Diego

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
diegolegno@hotmail.com

 /0009-0009-5509-9304

Rotondo, Rosana

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
rrotondo@unr.edu.ar

 /0000-0001-7426-8921

Resumen: El uso de compost de residuos de camas porcinas (CCP) en horticultura hace un aporte a la economía circular. Este trabajo evaluó el efecto del CCP sobre el contenido de materia orgánica (MOS), carbono de la biomasa microbiana (CBM), actividad enzimática (FDA), estabilidad de agregados ($EA_{<2mm}$), nitratos (NO_3^-) y fósforo (P) en el suelo (0-20 cm), y sobre el peso fresco (PF), peso seco (PS), materia seca (%MS) y eficiencia del uso (EU) del CCP y del N en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada a campo. Se compararon, mediante un ANAVA, parcelas con (T1) y sin (T0) CCP durante dos ciclos de cultivo anuales, aplicando 6,3 kg m⁻² y 2,1 kg m⁻² de CCP el año 2022 y 2023 respectivamente, en un DCA con 4 repeticiones. El CCP incrementó la MOS en un 25% sin afectar significativamente el CBM ni la FDA. La $EA_{<2mm}$ fue mayor en T1 (7,5%) respecto a T0 (3,6%). El CCP aumentó ($p<0,05$) la producción de lechuga respecto a T0, con diferencias de 2,17 kg m⁻² para PF y de 0,13 kg m⁻² para PS, lo que representa incrementos del 111% en PF y del 72% en PS. Se observó menor %MS ($p<0,05$) en T1 (7,83%) respecto a T0 (9,42%). Las EU del CCP y del N fueron mayores en el segundo año evidenciando efectos residuales. Se detectó un aumento de NO_3^- y de P en el suelo, lo que implica riesgos ambientales. El CCP mejora parámetros edáficos y productivos en el corto plazo, pero requiere de estrategias de manejo sostenibles.

Palabras clave: calidad de suelo, horticultura, fertilización orgánica, sostenibilidad

Abstract: *The use of swine deep-litter waste (CCP) in horticulture contributes to the circular economy. This study evaluated the effect of CCP on soil organic matter (MOS), microbial biomass carbon (CBM), enzyme activity (FDA), aggregate stability ($EA_{<2mm}$), nitrate (NO_3^-), and phosphorus (P) content (0-20 cm), and on fresh weight (PF), dry weight (PS), dry matter (%MS), and use efficiency (UE) of CCP and N in lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the field. Plots with (T1) and without (T0) CCP were compared during two cropping cycles per year, applying 6,3 kg m⁻² and 2,1 kg m⁻² of CCP in 2022 and 2023, respectively, in a DCA with 4 replicates and ANOVA analysis. CCP increased MOS by 25% without significantly affecting CBM or FDA. $EA_{<2mm}$ was higher in T1 (7,5%) compared to T0 (3,6%). CCP increased lettuce production ($p<0,05$) compared to T0, with differences of 2,17 kg m⁻² for PF and 0,13 kg m⁻² for PS, representing increases of 111% in PF and 72% in PS. A lower ($p<0,05$) %MS was observed in T1 (7,83%) compared to T0 (9,42%). The EU of the CCP and N was*

Ortiz Mackinson, Mauricio

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad

Nacional de Rosario, Argentina

mauricio.ortizmackinson@unr.edu.ar

 /0009-0009-0723-7979

*Autor para correspondencia:

Beatriz Bonel / bbonel@unr.edu.ar

higher in the second year, demonstrating residual effects. An increase in soil NO_3^- and P content was detected, indicating potential environmental risks. CCP improves soil and crop parameters in the short term, but management strategies are needed to ensure long-term sustainability.

Keywords: soil quality, horticulture, organic amendment, sustainable agriculture

Revista FAVE

Sección Ciencias

Agrarias

núm. 24, e0051, 2025

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-E: 2346-9129

Periodicidad: Continua

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 05 junio 2025

Aprobación: 03 septiembre 2025

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2025.24.e0051>

Introducción

La producción porcina en Argentina se encuentra en crecimiento y desarrollo, incorporando de manera constante tecnologías compatibles con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) (MECNUD, 2021-2025). En este sentido, el sistema de crianza en “cama profunda” es una alternativa para productores de mediana y pequeña escala ya que posee numerosas ventajas al disminuir costos y mejorar el bienestar animal. En contrapartida, genera gran cantidad de desechos orgánicos compuestos por el material de las camas, generalmente heno o paja y por las excretas sólidas y líquidas de los animales. Estos residuos pueden ser transformados mediante el proceso de compostaje favoreciendo a una economía circular, posibilitando el reemplazo de fertilizantes de síntesis química y disminuyendo el impacto ambiental negativo.

La valorización del compost ha sido estudiada en sistemas hortícolas a campo por Rotondo et al. (2009), comprobando mejoras en el suelo en cuanto al contenido de materia orgánica y en la estabilidad estructural, así como en los niveles de fósforo. Por otra parte, el impacto de las enmiendas orgánicas sobre parámetros biológicos y bioquímicos en suelos hortícolas ha sido poco investigado. En particular, el estudio de la biomasa microbiana reviste especial importancia debido a su relación con la fracción lábil del carbono edáfico (Sotelo et al., 2022), mientras que la estimación de la actividad enzimática, medida como la capacidad de hidrolizar el diacetato de fluoresceína (FDA), brinda información sobre la función de los principales descomponedores, bacterias y hongos presentes en el suelo (Mansilla et al., 2022).

A escala productiva se ha demostrado que la aplicación de compost de residuos de camas porcinas (CCP) aumenta la productividad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). También se ha evidenciado aumento en el área foliar y colores verdes más oscuros, lo que influye sobre la aceptabilidad sensorial del producto final (Ortiz Mackinson et al., 2021). La sinergia entre la producción de alimentos y la disposición final de residuos pecuarios orgánicos se traduce en servicios ecosistémicos (Degioanni y Amín, 2018; Paterlini et al., 2019), contribuyendo a la sustentabilidad. No obstante, estas alternativas deben llevarse a cabo bajo condiciones de inocuidad de los alimentos, con bajo impacto ambiental y social pero manteniendo la competitividad productiva. Para ello, los procesos intervinientes en las propuestas de uso de los residuos agropecuarios deben ser valoradas utilizando información científica.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del agregado de CCP sobre parámetros biológicos, físicos y químicos del suelo, y su relación con la productividad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada a campo.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo durante los años 2022 y 2023 sobre dos ciclos de lechuga y cuatro ciclos de medición. Se realizó en la Sección de Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina (Zavalla, Santa Fe, 33°01'LS y 60°53' LW) sobre un Argiudol vértico serie Roldán (Ap: arcilla 237 g kg⁻¹, limo 741 g kg⁻¹ y arena 22 g kg⁻¹). Previo al establecimiento del cultivo, el suelo fue acondicionado mediante labores con cincel, disco de doble acción y vibrocultivador. En un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones se asignaron dos tratamientos, uno con aplicación de CCP (T1) y otro sin CCP (T0). Cada unidad experimental (UE) midió 1,5 m de ancho por 10 m de largo (15 m²), con un metro de bordura entre parcelas del mismo bloque. El CCP provino de la Sección de Producción Porcina de la FCA, cumplió con la etapa termófila indicada para el proceso de higienización, alcanzando valores recomendados por SCyMA y SENASA (2019) de coliformes fecales, salmonellas, ascaris lumbricoides y elementos potencialmente tóxicos. El CCP presentó un 29,75% de materia orgánica, 0,32% de fósforo total, relación C:N de 17, pH de 9,8 y conductividad eléctrica de 1,32 dS m⁻¹. Los valores de respiración basal, carbono soluble en agua y amonio estuvieron por encima del límite, indicando que el CCP aún presentaba elementos orgánicos por degradar. Por otra parte, los índices de germinación y de crecimiento relativo radicular para semillas hortícolas, fueron mayor a 60% y 0,8 respectivamente, indicando que no existe efecto inhibitorio.

Las UE con CCP recibieron $6,3 \text{ kg m}^{-2}$ (39,5% H^o) en 2022 y $2,1 \text{ kg m}^{-2}$ (43% H^o) en 2023, en base húmeda. La dosis se ajustó, en base seca, según contenido de nitrógeno (N) del CCP para cada año (0,92 y 1,53% de N para 2022 y 2023 respectivamente). Se tuvo en cuenta un requerimiento de N por tonelada de lechuga de 2,8 kg (Ferratto et al., 2010) y un rendimiento esperado de 5 kg m^{-2} para el año 2022 y de $3,3 \text{ kg m}^{-2}$ para el año 2023 considerando dos ciclos de producción. Se consideró que del total de N presente en el CCP, un 50% estaría disponible (N_{CCP}) en el término de un año (Saavedra et al., 2017; Lamelas et al., 2019), lo que representa para este trabajo un aporte anual de $17,48 \text{ g } N_{\text{CCP}} \text{ m}^{-2}$ en 2022 y de $9,18 \text{ g } N_{\text{CCP}} \text{ m}^{-2}$ en 2023. Los rendimientos objetivos se definieron en base a respuestas obtenidas para lechuga previamente (Ortiz Mackinson et al., 2021). El CCP se pesó con balanza digital y fue aplicado al voleo e incorporado en los primeros 20 cm de suelo con un motocultivador de uso hortícola el 28/07/2022 y 10/08/2023 respectivamente (Figura 1A y 1B). El trasplante del cultivo de lechuga se realizó con un diseño de tresbolillo sobre platabandas, en 4 hileras con dos líneas de riego por goteo (Figura 1C y 1D). La densidad de plantación fue de 10 pl m^{-2} y se utilizó la variedad botánica *acephala*, material comercial “Brisa”. En el período comprendido entre el trasplante y la cosecha se realizaron labores de carpida con zapines de mano. Las fechas de trasplante y cosecha para cada ciclo se muestran en la Tabla 1.



FIGURA 1 / FIGURE 1

Figura 1. Aplicación (A) e incorporación de compost de residuos de camas porcinas (B). Trasplante de lechuga (C) sobre platabandas regadas por goteo (D). / **Figure 1.** Application (A) and incorporation of swine deep-litter compost (B). Lettuce transplanting (C) onto drip-irrigated beds (D).

TABLA 1 / TABLE 1

Tabla 1. Fechas de trasplante y cosecha por ciclo de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y por año. /
Table 1. Transplant and harvest dates by lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop cycle and by year.

Año	2022		2023	
Ciclo	1	2	1	2
Fecha de trasplante	28/07	18/10	10/08	09/11
Fecha de cosecha	03/10	05/12	09/10	28/12

A los 88 (2022) y 69 (2023) días de aplicación del CCP se extrajeron muestras de suelo compuestas de 10 submuestras, del espesor de 0 - 20 cm y se determinó materia orgánica del suelo (MOS) a partir del carbono oxidable (IRAM 29571-2, 2009), nitratos (NO_3^-) por Harper (1924); fósforo extraíble (P) por Bray-Kurtz (IRAM-SAGyP 29570-1, 2010), carbono de la biomasa microbiana (CBM), por el método de Fumigación-Extracción (Vance et al., 1987) y actividad enzimática global por hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA) según protocolo propuesto por Green et al. (2006). Al finalizar la cosecha del último ciclo de cultivo (diciembre de 2023), se extrajeron muestras con pala contemplando un mínimo disturbio para determinar la proporción de agregados estables al agua menores a 2 mm ($\text{EA}_{<2\text{mm}}$). Para ello, se implementó el pre-tratamiento con agua de los agregados y la metodología de Hénin (1972). Al momento de cosecha se midió el peso fresco (PF) de diez plantas tomadas al azar en forma manual de las dos líneas centrales de cada UE (Figura 2A y 2B), las cuales fueron extraídas con cuchillo respetando los parámetros de calidad según Trevor y Cantwell (2011). Posteriormente se determinó el porcentaje de materia seca aérea (%MS) a partir de la diferencia entre peso fresco y seco, obtenido en estufa (60°C) de una mitad de cada planta (Figura 2C). Se afectó el PF por el valor de %MS para obtener el rendimiento en peso seco (PS). Las plantas se pesaron en una balanza digital Systel Bummer $\pm 1\text{g}$, expresando el resultado en gramos por planta (g pl^{-1}). Con los datos obtenidos de los dos ciclos de cultivo por año se estimó la producción acumulada de lechuga para cada año expresando los resultados en kilogramos de PF o PS por planta y por metro cuadrado ($\text{kg m}^{-2} \text{año}^{-1}$). Asimismo se calculó, para cada año, la eficiencia en el uso del CCP (EU CCP) y del N_{CCP} aplicado con el CCP (EU N_{CCP}), según las siguientes ecuaciones:

$$\text{EU CCP (kg kg)} = \text{PF} \div \text{CCP}$$

donde: PF: peso fresco del cultivo de lechuga ($\text{kg m}^{-2} \text{año}^{-1}$); CCP: compost de cama porcina ($\text{kg m}^{-2} \text{año}^{-1}$).

$$\text{EU N}_{\text{CCP}} (\text{kg g}) = \text{PF} \div \text{N}$$

donde: PF: peso fresco del cultivo de lechuga ($\text{kg m}^{-2} \text{año}^{-1}$); N: nitrógeno disponible aportado por el compost de cama porcina ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$); CCP: compost de camas porcinas.



FIGURA 2 / FIGURE 2

Figura 2. Vista general del experimento (A), cosecha (B) y corte al medio de plantas para determinar materia seca (C). / **Figure 2.** General view of the experiment (A), harvest (B) and cutting of plants to determine dry matter (C).

Los datos se analizaron estadísticamente utilizando el Programa Infostat Professional (Di Rienzo et al., 2020). El modelo utilizado consideró como factores de variabilidad el año, los tratamientos y la interacción entre ambos. Cuando la interacción no fue significativa se analizaron los efectos principales por separado. Se comprobó la normalidad y homogeneidad de variancia y posteriormente se realizó un ANAVA y comparación de medias. En el caso de no cumplir los parámetros de normalidad los datos se analizaron utilizando el test de Kruskal Wallis y comparaciones múltiples. Asimismo se analizó, de manera descriptiva, la respuesta en rendimiento de lechuga como diferencia entre tratamientos.

Resultados y Discusión

En este trabajo la actividad microbiana general del suelo, medida como hidrólisis del FDA, no evidenció diferencias significativas ante al agregado de CCP en el cultivo de lechuga a campo (Tabla 2). Por el contrario, Sánchez-Monedero et al. (2008) utilizando abonos orgánicos de diferente origen, composición y grado de estabilidad, reportan mayor FDA respecto a testigos sin abono, en condiciones de laboratorio. Otros autores también observaron estas diferencias utilizando compost de residuos vegetales combinados con estiércol (Hernández et al., 2016), y en la actividad enzimática utilizando compost de estiércol y de lodos (Múscolo et al., 2018). En la situación hortícola de campo, las condiciones ambientales podrían enmascarar la respuesta en favor del agregado de CCP, ya que la actividad biológica está muy influenciada por dichas condiciones (Morales et al., 2016). No obstante, Wang et al. (2013) utilizando en ensayos de campo compost de residuos de maíz y de estiércol combinados con fertilizantes inorgánicos observaron respuesta en la actividad enzimática. Se infiere que, además de las condiciones ambientales, la calidad de la materia orgánica y el tipo de sustrato aportado por el material orgánico podrían condicionar la respuesta biológica del uso de CCP.

Respecto al CBM, al igual que la FDA, no evidenció diferencias significativas, aunque los valores absolutos en promedio fueron mayores con el agregado de CCP, con una notable variabilidad de los datos obtenidos. Es sabido que el aporte de compuestos de carbono fácilmente descomponibles presentes en un compost, contribuyen al aumento del CBM y a la estimulación de la actividad microbiana (Hernández et al., 2016; Morales et al., 2016). No obstante, en este trabajo dicha asociación no fue tan evidente, lo que se podría atribuir a la coexistencia de diferentes tamaños de partículas, ya que el CCP no recibió tamizado previo. Según información preexistente, el tamaño predominante en CCP corresponde a fracciones menores a 3,35 mm (Magrì, 2020), las que contienen la materia orgánica estabilizada. Los tamaños de partículas restantes son las que presentan mayor biodegradabilidad del material aplicado y disponibilidad de sustratos para los microorganismos

(Doublet et al., 2010; Glab et al., 2025). La variabilidad de los procesos vinculados al tamaño y a la distribución a campo del CCP puede ser alta, lo que dificultaría la interpretación de los resultados en relación a los procesos bioquímicos de suelo.

TABLA 2 / TABLE 2

Tabla 2. Promedios y desvíos estándar de variables químicas y biológicas del espesor 0 – 20 cm de un suelo bajo producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.). / **Table 2.** Means and standard deviations of chemical and biological variables in the 0 – 20 cm depth of a soil under lettuce (*Lactuca sativa* L.) production.

	MOS mg C kg⁻¹ de suelo	NO₃⁻ ppm	P ppm	FDA µg FI h⁻¹ g⁻¹	CBM µg C g⁻¹
T0	2,4 ± 0,1 ¹ a	20,0 ± 6,2 a	62,8 ± 7,9 a	129,8 ± 11,0 a	94,6 ± 38,3 a
T1	3,0 ± 0,2 b	45,8 ± 14, b	109,0 ± 8,4 b	138,8 ± 10,7 a	113,6 ± 79,0 a

(1) desvío estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)

La tendencia en el aumento de la biomasa microbiana hallada en este estudio coincidiría con el aumento de la MOS (Tabla 2). En este trabajo, el contenido de MOS fue un 25% mayor con el agregado de CCP, alcanzando el 3% citado como umbral mínimo de calidad para Argiudoles del sur de Santa Fe (Bacigalupo et al., 2017) y de manera similar a lo reportado por Ortiz Mackinson (2021) para el mismo espesor de suelo, aplicando dosis de CCP entre 6 y 12 t ha⁻¹ en cultivos de lechuga a campo sobre Argiudoles vérticos del sur de Santa Fé. Pegoraro et al. (2019), con aplicaciones superficiales de 14 t ha⁻¹ de CCP en Argiudoles típicos de Marcos Juárez, no hallaron diferencias en contenidos de MOS en los primeros 20 cm de suelo durante el desarrollo de un cultivo extensivo, aunque sí en la MOS particulada y en el CBM, el que evidenció aumentos del 25%. En este trabajo, el aumento en CBM representó, en promedio de años, un 20% pero las diferencias no fueron significativas. El efecto de la utilización de compost en planteos productivos permite mejorar o mantener la calidad del suelo modificando las propiedades microbiológicas, pero también las físicas (García-Ruíz et al., 2012; Rivier et al., 2025). En este trabajo se hallaron valores de estabilidad al agua, de agregados de 2 mm, significativamente mayores ($p < 0,05$) con la aplicación de CCP ($7,5\% \pm 1,5$) en comparación con el testigo sin CCP ($3,6 \pm 1,0$), coincidiendo las diferencias y los valores absolutos con lo reportado por Ortiz Mackinson (2021), también en el corto plazo. Para el CCP utilizado en este trabajo se han reportado valores de estabilidad, siguiendo el mismo protocolo de análisis que para suelos, de entre 77% y 84% (Ortiz Mackinson, 2021). Por esta razón, y por la presencia de partículas de tamaños mayores a 3,35 mm, la adición de CCP en suelos hortícolas degradados mejoraría de manera inmediata la condición física, coincidiendo con los beneficios informados por otros autores (Doublet et al., 2010; Glab et al., 2025). Asimismo, nuestros resultados acuerdan con los de Hernández et al. (2016) y con los de Xin et al. (2016), quienes hallaron que el compost mejora la estabilidad de los agregados y la capacidad de retención de agua en el suelo. No obstante, estas mejoras dependen del aporte exógeno de material orgánico y perdurarán en el suelo mientras la materia orgánica se encuentre unida a superficies arcillosas o estén localizadas dentro de los microporos (Oades, 1984; García-Orenes et al., 2005). Por este motivo, resultaría beneficioso diseñar estrategias de aplicaciones sucesivas del CCP compatibles con los ODS.

La Tabla 3 muestra los resultados de las variables productivas del cultivo de lechuga por año y por tratamiento. La comparación de medias para el peso acumulado fresco no evidenció diferencias significativas entre años, correspondiendo a $2,78 \pm 1,36$ kg m⁻² y $3,28 \pm 1,23$ kg m⁻² para los años 2022 y 2023 respectivamente. Para el PS se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años con valores de $0,27 \pm 0,07$ kg m⁻² y $0,22 \pm 0,08$ kg m⁻² para el primer y segundo año de evaluación respectivamente (datos no mostrados). Las diferencias de las medias anuales fueron altamente significativas a favor del T1, tanto para PF como para PS (Tabla 3). La diferencia acumulada de rendimiento anual, promedio de dos años, fue de 2,17 kg m⁻² para PF y de 0,13 kg m⁻² para PS, lo que representa un incremento debido al CCP del 111% en PF y del 72% en PS. El tratamiento con

CCP presentó mayor contenido de agua que el tratamiento sin compost por lo que se halló menor %MS ($p < 0,0008$) en T1 respecto a T0, con valores de $7,83 \pm 1,17\%$ y $9,42 \pm 1,06\%$ respectivamente. Estos valores estuvieron dentro del rango y de las diferencias reportadas por Ortiz Mackinson et al. (2022), en investigaciones realizadas en el cultivo de lechuga con y sin aplicación de CCP. En base a esta información se puede inferir que las mejores condiciones productivas generadas por el CCP se traducen en una mayor tasa de crecimiento relativo y una disminución en el %MS. La relación inversa entre PF y %MS también fue reportada por Amin et al. (2024), utilizando compost de feedlot. El contraste de las variables productivas coincide con los resultados informados por otros autores utilizando materiales compostados de diferentes orígenes. Por ejemplo, Paterlini et al. (2019), hallaron diferencias significativas en el rendimiento de lechugas moradas con el agregado de compost de cama de pollo respecto al testigo sin enmienda, mientras que Amin et al. (2024) reportan rendimientos 29% superiores aplicando compost de feedlot en suelos bajo invernáculo.

TABLA 3 / TABLE 3

Tabla 3. Variables productivas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con (T1) y sin (T0) aplicación de compost de residuos de cama porcina correspondiente a los años 2022 y 2023. Valores medios acumulados de peso fresco (PF) y peso seco (PS), diferencias entre tratamientos (T1 - T0) y comparación de medias. /

Table 3. Productive variables of lettuce (Lactuca sativa L.) with (T1) and without (T0) application of swine deep-litter compost corresponding to the years 2022 and 2023. Average accumulated values of fresh weight (PF) and dry weight (PS), differences between treatments (T1 - T0) and comparison of means.

Tratamiento	Año	PF (kg m ⁻²)	PS (kg m ⁻²)	PF (kg m ⁻²)	PS (kg m ⁻²)
T0	2022	2,22 ± 0,27 ⁽¹⁾	0,21 ± 0,02	1,95 ± 0,58 a	0,18 ± 0,05 a
	2023	1,67 ± 0,72	0,15 ± 0,06		
T1	2022	4,34 ± 0,71	0,33 ± 0,04	4,12 ± 0,69 b	0,31 ± 0,04 b
	2023	3,90 ± 0,70	0,29 ± 0,02		
T1 - T0	2022	2,11 ± 0,93	0,12 ± 0,05	2,17 ± 1,06	0,13 ± 0,06
	2023	2,23 ± 1,32	0,14 ± 0,08		

(1) desvío estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)

La eficiencia de uso del CCP (EU CCP) por parte del cultivo fue mayor en 2023 tras la segunda aplicación consecutiva de CCP, con un valor de producción de lechuga fresca por cada kg de compost que triplica ($3,25 \text{ kg}_{\text{PF}} \text{ kg CCP}$) al del primer año ($1,14 \text{ kg}_{\text{PF}} \text{ kg CCP}$). Teniendo en cuenta que la cantidad de CCP aplicada en base seca en el segundo año fue menor ($1,2 \text{ kg m}^2$) que en el primero ($3,8 \text{ kg m}^2$), las diferencias podrían atribuirse a un efecto residual o a un efecto acumulado del material orgánico sobre el suelo y el cultivo. La diferencia en la EU N_{CCP} entre años mostró la misma tendencia que la EU CPP, siendo de 0,25 y 0,42 $\text{kg}_{\text{PF}} \text{ g } N_{\text{CCP}}$ para el año 2022 y 2023 respectivamente. La menor EU N_{CCP} del primer año podría indicar que la dosis aplicada de CCP cubre los requerimientos de N para la producción esperada, pero que una mayor respuesta estaría condicionada por otros factores limitantes (Parletini et al., 2019) que determinan una subutilización del N_{CCP} . En este trabajo se consideró que por cada gramo de N aportado se producirían 0,37 kg de lechuga (Ferratto, 2010). No obstante, la relación obtenida a campo fue diferente puesto que alcanzó valores de $4,03 \text{ g } N_{\text{CCP}} \text{ kg}_{\text{PF}}$ para el 2022 y de $2,36 \text{ g } N_{\text{CCP}} \text{ kg}_{\text{PF}}$ para el 2023, considerando el N_{CCP} aplicado. En base a estos resultados se puede decir que habría atributos no identificados en el CCP y en el suelo que impactan positivamente en las variables productivas, o que los resultados indican un mejor ajuste entre dosis y requerimientos de N del cultivo de lechuga en el segundo año. Según los resultados reportados por Ortiz Mackinson et al. (2022), comparando dosis entre 8 y 12 g m^{-2} aplicadas por única vez, se infiere que la EU N_{CCP} decae en forma lineal ($R^2 = 0,97$; $p > 0,05$) cuando se aporta más N_{CCP} , desde valores de $0,54 \text{ kg}_{\text{PF}} \text{ g } N_{\text{CCP}}$ a $0,30 \text{ kg}_{\text{PF}} \text{ g } N_{\text{CCP}}$. El contraste de estos resultados con los nuestros, sugiere que la aplicación consecutiva de CCP o de dosis altas de CPP, requiere del ajuste y de la planificación del

manejo del cultivo para evitar efectos no deseados. En este sentido se puede agregar que un exceso de N puede originar acumulación de nitratos en los tejidos de la hojas de lechuga y afectar, en consecuencia, la salud humana. No obstante, a favor del CCP se puede decir que la baja tasa de mineralización de los materiales orgánicos, permitirían una absorción gradual del nitrógeno y una menor acumulación de nitratos en las plantas. Varios autores reportan esta ventaja desde el punto de vista de los ODS, cuando se compara el uso de fertilizantes orgánicos con inorgánicos (Hernández et al., 2010; Ozgen et al., 2014; Hernández et al., 2016). En nuestra investigación no se midió contenido de N en hoja pero los mayores contenidos de nitratos hallados hacia final del ciclo del cultivo (Tabla 2) indicarían, por el contrario, una subutilización del aporte de N_{CCP} , existiendo potenciales pérdidas por lixiviación y escurrimiento. Los valores de NO_3^- observados, en promedio de los dos años, fueron un 129% más elevados en las parcelas con abono orgánico que en las que no recibieron CCP. Esto indicaría que, a pesar de evidenciarse un incremento de los rendimientos de lechuga con el agregado de CCP, los aportes de N superarían el equilibrio necesario respecto a otros nutrientes o factores de producción que no harían posible utilizar todo el N_{CCP} aportado. Entre los factores que deben tenerse en cuenta en la evaluación del uso de N, se encuentra el manejo del agua de riego, el que no debe ser excesivo ni deficitario para favorecer el abastecimiento del nutriente a la planta. En este trabajo durante el desarrollo del cultivo se aplicó la misma lámina en T1 y T0, por lo que la provisión de agua podría enmascarar los efectos de la aplicación del CCP en relación al ciclo del N. Por otra parte, se observó que la capacidad de formar biomasa en los órganos de cosecha se asocia, no solo al aporte de N, sino a la mejora de otras variables químicas, físico-químicas y físicas del suelo. Dicha mejora impacta en el número de hojas por planta, en el área foliar y, en consecuencia, en la mayor EU CCP observada en el segundo año. No obstante, como se viene discutiendo, debe tenerse en cuenta que en el primer año pudo haber una sobre estimación de la dosis de N en relación a una producción esperada mayor, justificando la baja EU N_{CCP} y en acuerdo con lo informado por Amin et al. (2024). Otro aspecto a tener en cuenta, relacionado a la sostenibilidad, es el aumento de P en el suelo derivado de la aplicación de CCP (Tabla 2). Este enriquecimiento puede ser perjudicial para los suelos hortícolas que presentan niveles muy altos (> 25 ppm) de este elemento (Sainz Rozas et al., 2012). El valor promedio de P en T0 no limitaría la producción de los cultivos por lo que el exceso observado en T1 podría aumentar el riesgo de contaminación de napas freáticas. Por este motivo, y teniendo en cuenta que la captura de N y el enriquecimiento con P va a depender del tipo de suelo, las condiciones climáticas, las dosis y tipo de material orgánico aplicado, se precisa intensificar el estudio de alternativas de producción que utilicen residuos agropecuarios (Goldan et al., 2023) para cumplir con los objetivos de sostenibilidad.

Conclusiones

El CCP aplicado durante dos años consecutivos incrementó la MOS en un 25% y mejoró la condición estructural del suelo duplicando la cantidad de agregados estables al agua en el espesor de 0 a 20 cm. El uso de CCP marcó una tendencia hacia una mejora sobre la condición biológica, medida como CBM y actividad microbiana global (FDA), pero sin valor estadístico. El efecto sobre el cultivo de lechuga fue significativo, incrementando un 111% el PF y un 72% el PS, lo que fue acompañado por %MS menores. La relación entre la producción del cultivo y el N_{CCP} , varía según el rendimiento objetivo del sistema y según las dosis de CCP aplicadas en años consecutivos. El hallazgo de mayores valores de nitratos y de fósforo con la aplicación de CCP evidencia un riesgo ambiental y una ineficiencia sistémica. Por este motivo, para cumplir con los ODS, se requiere profundizar los estudios que consideren la incorporación de residuos de camas porcinas compostados en planteos productivos hortícolas.

Referencias

- Amin, M. S., Chilano, Y., Degioanni, A. J. & Becerra, M. A. (2024). Compost de residuo de feedlot en un sistema suelo - cultivo de lechuga. *RIVAR*, 11(32), 80-95. <https://doi.org/10.35588/12br5m17>
- Bacigaluppo, S., Gerster, G. & Salvagiotti, F. (2017). Ecorregión Pampeana. Centro-Sur de Santa Fe. Sistema Productivo: Agrícola continuo. En Wilson, M. G. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*, p. 259-265. Ediciones INTA.
- Degioanni, A. & Amín, M. (2018). Función depuradora del suelo. *Revista Científica FAV-UNRC Ab Intus* 2(1), 83-88.
- Di Rienzo, J. A., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2020). Infostat Professional.
- Doublet, J., Francou, C., Pétraud, J. P., Dignac, M. F., Poitrenaud, M. & Houot, S. (2010). Distribution of C and N mineralization of sludge compost within particle-size fractions. *Bioresource Technology*, 101, 1254-1262. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.037>
- Ferratto, J., Mondino, M., Grasso, R., Ortiz Mackinson, M., Longo, A., Carrancio, L., Firpo, I., Rotondo, R., Zembo, J., Castro, G., García, M., Rodríguez Fazzone, M. & Iribarren, J. (2010). Aplicación de abonos, enmiendas y fertilizantes. En *Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar. Cadena de las principales hortalizas de hojas en Argentina* (pp. 250–267). Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/bpa/bibliografia/Manual_BPA_Hortalizas_FAO.pdf
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., & Mataix-Beneyto, J. (2005). Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil and Tillage Research*, 82(1), 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.06.004>
- García-Ruiz, R., Ochoa, M. V., Hinojosa, M. B. & Gómez-Muñoz, B. (2012). Improved soil quality after 16 years of olive mill pomace application in olive oil groves. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 803–810. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0080-7>
- Głab, T., Gondek, K. & Mierzwa-Hersztek, M. (2025). Enhancing Soil Physical Quality with Compost Amendments: Effects of Particle Size and Additives. *Agronomy* 15, 458. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020458>
- Goldan, E., Nedeff, V., Barsan, N., Culea, M., Panainte-Lehadus, M., Mosnegutu, E., Tomozei, C., Chitimus, D. & Irimia, O. (2023). Assessment of Manure Compost Used as Soil Amendment—A Review. *Processes*, 11, 1167. <https://doi.org/10.3390/pr11041167>
- Green V. S., Stott D. E. & Diack, M. (2006). Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. *Biology and Biochemistry*, 38(4), 693-701. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.06.020>
- Harper, H. J. (1924). The Accurate Determination of Nitrates in Soils. Phenoldisulfonic Acid Method. *Industrial & Engineering Chemistry*, 16(2), 180-183.
- Hénin, S., Gras, R. & Monnier, R. (1972). El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi Prensa, Madrid. 342 pp.
- Hernández, A., Castillo, H., Ojeda, D., Arras, A., López, J. & Sánchez, E. (2010). Effect of vermicompost and compost on lettuce production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(4), 583-589.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa L.*) crops-Effects on soil and plant. *Soil & Tillage Research*, 160, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.005>
- Lamelas, K., Maisonnave, R., Mair1, G. & Rodríguez, N. (2019). Cama de pollo. Valor agronómico. Caracterización físico química de la cama de pollo de granjas integradas de parrilleros de la costa este de la provincia de Entre

Ríos. Ministerio de Agroindustria de la Nación.

- Magrí, L. I. (2020). Manejo de los residuos de cama profunda en un sistema de producción porcina mediante el compostaje. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Rosario]. Biblioteca virtual UNR <http://hdl.handle.net/2133/19189>
- Mansilla, N. P., Sotelo, C. E., Banegas, N. R., Sirio, A. A. & Viruel, E. (2022). Actividad hidrolítica de enzimas microbianas sobre diacetato de fluoresceína. En: Castelán, María Elena, et al., coord. *Metodologías microbiológicas de indicadores ambientales de suelo*. (82-91). Universidad Nacional del Nordeste.
- MECNUD (2021-2025). Marco estratégico de cooperación de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible de Argentina. Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto. Argentina. <https://argentina.un.org/sites/default/files/2020-12/MECNUD%202021-2025.pdf>
- Morales, D., Vargas, M. M., Oliveira, M. P. D., Taffe, B. L., Comin, J., Soares, C. R. & Lovato, P. (2016). Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. *Ciencia Rural*, 46(2), 260-266. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140565>
- Muscolo, A., Papalia, T., Settineri, G., Mallamaci, C. & Jeske-Kaczanowska, A. (2018). Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties, *Journal of Cleaner Production* 195, 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.204>
- Norma IRAM-SAGPyA 29570-1. (2010). Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1- Método Bray Kurtz 1 modificado.
- Norma IRAM-SAGPyA 29571-2. (2009). Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- Oades, J. M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil* 76, 319–337.
- Ortiz Mackinson, M. (2021). Aplicación de compost de cama profunda porcina en un sistema productivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo. Repositorio Hipermedial UNR. <http://hdl.handle.net/2133/23569>
- Ortiz Mackinson, M., Bonel, B., Rotondo, R., Grasso, R., Balaban, D. M. & Vita Larrieu, E. (2022). Utilización de compost de cama profunda porcina como abono orgánico en un sistema productivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de Ciencias Agronómicas de la FCA*, 40, <https://doi.org/10.35305/agro40.e023>
- Ozgen, S., Sekerci, S. & Kaya, C. (2014). Nitrate and phytochemicals: may these vary in red and green lettuce by application of organic and inorganic fertilizers? *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 30(3), 173-182. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.888523>
- Paterlini, H., González, M. V. y Picone, L. I. (2019). Producción de lechuga en un suelo con aplicación de compost de cama de pollo. *Ciencia del Suelo*, 37(1). <https://www.suelos.org.ar/sitio/volumen-37-numero-1-julio-2019/>
- Pegoraro, V. R., Boccolini, M. F., Baigorria, T., Rizzo, P. F., Lorenzon, C. A. y Cazorla, C. R. (2019). Aplicación de compost de cama profunda porcina: calidad de suelo y producción de soja (*Glycine max* L.). Ediciones INTA.
- Rivier, P. A., Jamniczky, D., Nemes, A., Makó, A., Barna, G., Uzinger, N., Rékási, M. & Csilla, F. (2025). Short-term effects of compost amendments to soil on soil structure, hydraulic properties, and water regime. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 70(1), 74–88. <http://doi.org/10.2478/johh-2022-0004>

- Rotondo, R., Firpo, I. T., Ferreras, L., Toresani, S., Fernández, S. y Gómez, E. (2009). Efecto de aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66), 18-25. <https://www.horticulturamar.com.ar/es/articulos/efecto-de-la-aplicacion-de-enmiendas-organicas-y-fertilizante-nitrogenado-sobre-propiedades-edaficas-y-productividad-en-cultivos-hortícolas.html>
- Saavedra, G., Corradini, F. & Antúnez, A. (2017). Manual de producción de lechuga. Boletín INIA N°374. Biblioteca digital CEDOC-CIREN. Instituto de investigación Agropecuaria, Chile.
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Angelini, H. P. (2012). Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 38(1), 33-39.
- Sánchez-Monedero, M., Mondini, C., Cayuela, M.L., Roig, A., Contin, M. & Nobili, M. (2008). Fluorescein diacetate hydrolysis, respiration and microbial biomass in freshly amended soils. *Biology and Fertility of Soils* 44(6), 885-890.
- SCyMA - SENASA (2019). Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Resolución conjunta 1-2019, Anexo I. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-1-2019-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>.
- Sotelo, C. E., Sirio, A. A., & Pérez, G. L. (2022). Carbono de la biomasa microbiana del suelo. Método de fumigación-extracción. En: Castelán, M.E., et al., coord. *Metodologías microbiológicas de indicadores ambientales de suelo*, p. 69-81. Corrientes, UNNE. <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/52593>
- Trevor, V. S. y Cantwell, M. (2011). Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. <http://www.postharvest.technology.ucdavis>.
- Vance, E. D., Brookes P.C. & Jenkinson D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry* 19, 703-707.

AmeliCA

AmeliCA
Ciencia Abierta para el Bien Común

Bonel, Beatriz; Balaban, David; Grasso, Rodolfo; Diego, Legno; Rotondo, Rosana; Ortiz Mackinson, Mauricio
Valor agronómico del uso de compost de camas porcinas en el cultivo de lechuga

Agronomic value of using deep-litter compost in lettuce cultivation

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias
núm. 24, e0051, 2025
Universidad Nacional del Litoral, Argentina
revistafave@fca.unl.edu.ar

ISSN: 2346-9129
ISSN-E: 2346-9129

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2025.24.e0051>