



Rivar

REVISTA IBEROAMERICANA DE
VITICULTURA, AGROINDUSTRIA
Y RURALIDAD

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

COMPOST DE RESIDUO DE FEEDLOT EN UN SISTEMA SUELO - CULTIVO DE LECHUGA



*Feedlot Waste Compost in a
Soil System - Lettuce Cultivation*

*Compost de residuo de feedlot num sistema
solo - cultivo de alface*

Vol. 11, N° 32, 80-95, mayo 2024

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.35588/12br5m17>

Recibido

28 de abril de 2023

Aceptado

1 de diciembre de 2023

Publicado

Mayo de 2024

Cómo citar

Amin, M.S., Chilano, Y., Degioanni, A.J. y 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>

María Silvana Amin

Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba, Argentina



0009-0002-7113-4228

samin@ayv.unrc.edu.ar

Yanina Chilano

Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba, Argentina



0009-0000-7978-428X

yhilano@ayv.unrc.edu.ar

Américo José Degioanni

Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba, Argentina



0009-0009-7964-3554

adegioanni@ayv.unrc.edu.ar

Miguel Alejandro Becerra

Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba, Argentina



0009-0008-9804-4904

mabecerra@ayv.unrc.edu.ar

ABSTRACT

The soil-crop systems of the peri-urban area allow the recovery of chemical elements from the manure generated in intensive livestock production, reducing the risk of contamination of groundwater. This study evaluated the effect of the application of different doses of feedlot waste compost on the lettuce crop (*Lactuca sativa* L.) and on the chemical, physicochemical, and biological properties of the soil. In two consecutive years, greenhouse experiments were carried out applying doses equivalent to 128 and 500 kg ha⁻¹ of nitrogen, determining fresh weight and apparent efficiency of nitrogen recovery in the crop, and in the soil, nitrate content, organic matter, activity overall biological, electrical conductivity, and pH. The yield of the lettuce crop increased between 29 and 55%, with apparent N recovery efficiencies of less than 5%. In the soil, the effects were mainly manifested in the first centimeters, with increases in the contents of organic matter, global biological activity, and electrical conductivity. On the other hand, there were no significant changes in the pH or nitrate content at depths greater than those reached by the roots of the crop.

KEYWORDS

Pollution, nitrogen use efficiency, yield, organic amendment.

RESUMEN

Los sistemas suelo-cultivo del periurbano permiten recuperar elementos químicos del estiércol generado en la producción pecuaria intensiva, disminuyendo el riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Este estudio evaluó el efecto de la aplicación de diferentes dosis de compost de residuos de feedlot en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y en propiedades químicas, fisicoquímicas y biológicas del suelo. En dos años consecutivos se realizaron experimentos en invernadero, aplicando dosis equivalentes a 128 y 500 kg ha⁻¹ de nitrógeno, determinando peso fresco y eficiencia aparente de recuperación de N en el cultivo, y en el suelo, contenido de nitratos, materia orgánica, actividad biológica global, conductividad eléctrica y pH. El rendimiento del cultivo de lechuga se incrementó entre el 29 y 55%, con eficiencias de recuperación aparente de nitrógeno menores al 5%. En el suelo, los efectos se manifestaron principalmente en los primeros centímetros, con aumentos en los contenidos de materia orgánica, actividad biológica global y conductividad eléctrica. Por otro lado, no hubo cambios significativos en el pH ni

PALABRAS CLAVE

Contaminación, eficiencia de uso de nitrógeno, rendimiento, enmienda orgánica.

RESUMO

Os sistemas solo-cultivo do periurbano permitem recuperar elementos químicos do estrume gerado na produção pecuária intensiva, diminuindo o risco de contaminação de águas subterráneas. Este estudo avaliou o efeito da aplicação de diferentes doses de compost de resíduos de feedlot no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.) e nas propriedades químicas, fisicoquímicas e biológicas do solo. Em dois anos consecutivos realizaram-se experimentos em estufa, aplicando doses equivalentes a 128 e 500 kg ha⁻¹ de nitrogênio, determinando peso fresco e eficiência aparente de recuperação de N no cultivo, e no solo, conteúdo de nitratos, matéria orgânica, atividade biológica global, condutividade elétrica e pH. O rendimento do cultivo de alface incrementou-se entre o 29 e 55%, com eficiências de recuperação aparente de nitrogênio menores ao 5%. No solo, os efeitos manifestaram-se principalmente nos primeiros centímetros, com aumentos nos conteúdos de matéria orgânica, atividade biológica global e condutividade elétrica. Por outro lado, não teve câmbios significativos no pH nem no conteúdo de nitratos em profundidades maiores à conseguida pelas raízes do cultivo.

PALAVRAS-CHAVE

Polução, eficiência em uso de nitrogênio, rendimento, alteração orgânica.

Introducción

Los periurbanos son áreas de transición urbana-rural periféricas de las poblaciones y ofrecen servicios ecosistémicos de hábitat, producción y regulación. Sin embargo, cuando las actividades humanas vinculadas a estos servicios no son adecuadamente ordenadas en el territorio, emergen tensiones políticas, económicas y ambientales (Botana, 2003). La producción de alimentos de cercanía y la disposición final de residuos pecuarios orgánicos son dos servicios ecosistémicos que pueden complementarse en una sinergia “ganar-ganar”, ya que la utilización de éstos como enmienda orgánica en sistemas de producción agrícola puede incrementar el rendimiento de los cultivos (Degioanni y Amín, 2018; Paterlini et al., 2019; Trejo-Escareño et al., 2013).

El nitrógeno (N) es un elemento químico presente en los residuos pecuarios que, si no es transformado en biomasa o retenido en la materia orgánica del suelo, deviene en un potencial contaminante. En tal sentido, la mayoría del nitrógeno excretado por orina de los animales se encuentra principalmente bajo la forma de urea, compuesto que es hidrolizado a amonio (NH_4^+) mediante la acción de ureasas (Smith y Peterson, 1982). A su vez, otros compuestos nitrogenados orgánicos de las heces son transformados a NH_4^+ y luego a nitrato (NO_3^-). El NH_4^+ puede ser volatilizado y emitido a la atmósfera como amoníaco (NH_3). A su vez, el NH_3 puede producir eutrofización y acidificación de los ecosistemas (Bittman y Mikkelsen, 2009). Por otra parte, el NO_3^- proveniente de la oxidación del NH_4^+ si no es absorbido por el suelo, puede ser transferido a la atmósfera o al agua subterránea. En esta experiencia se toma el elemento N de los residuos pecuarios como potencialmente contaminante en una de sus formas reactivas (NO_3^-). La eficiencia de recuperación aparente de N (EARN) es una estimación de la cantidad de N que es capturado por los cultivos y, por tanto, no es transferido a la atmósfera o al agua subterránea. Es una variable cuyo valor depende de las tecnologías de producción, tipo de suelo, condiciones climáticas y las dosis de N aplicadas (Zemenchik y Albrecht, 2002). Una baja EARN indica que podría existir alta transferencia de N al agua subterránea y a la atmósfera (Degioanni y Amín, 2018).

El cinturón verde del periurbano de la ciudad de Río Cuarto, en Argentina, es un importante productor del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), con 23 ha de este cultivo bajo invernadero, donde se realizan aplicaciones de enmiendas orgánicas de origen animal. Por otra parte, también existen en el periurbano sistema de producción confinada de aves, cerdos y bovinos, cuyos residuos pecuarios, si no se gestionan adecuadamente, por ejemplo, utilizándolos como enmienda en sistemas suelo-cultivos, son fuente de contaminación puntual del agua subterránea con N y difusa con olores nauseabundos. La lechuga es una especie que por naturaleza puede acumular altas concentraciones de N durante la fase vegetativa (Bugarín-Montoya et al., 2011). Al respecto, Olivares-Campos et al. (2012) indicaron que la aplicación de enmiendas orgánicas sobre el cultivo ha dado similar contenido de N foliar que con aplicaciones de fertilizantes inorgánicos, mejorando a su vez la concentración de N. La hipótesis que orienta el presente trabajo es que la utilización en producciones hortícolas del periurbano de compost de residuos pecuarios como enmienda orgánica en dosis controladas, tiene efectos positivos sobre el rendimiento del cultivo de lechuga y no presenta un riesgo de contaminación del agua subterránea por lixiviación de NO_3^- .

El objetivo de estudio fue evaluar en sistemas suelo-cultivo de lechuga el efecto de la aplicación de enmienda con diferentes dosis de compost de residuos de feedlot en el rendimiento del cultivo, eficiencia en el uso de nitrógeno y en variables edáficas.

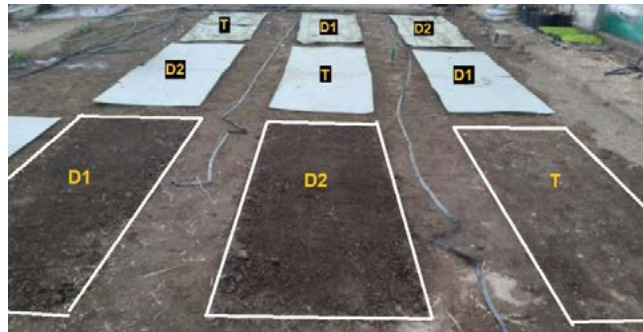
Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero ubicado en el campo de docencia y experimentación de la Universidad Nacional de Río Cuarto (-33.1067°S, -64.29847°O), durante dos años consecutivos: 2021 y 2022. El ensayo experimental fue con tres repeticiones en un diseño completo al azar en parcelas de 2,40 m².

El invernadero fue originalmente relleno en los primeros 40 cm de profundidad con suelo de textura franca arenosa sobre un material originario de la misma textura. Durante los ensayos las parcelas se cubrieron con cartones para evitar la competencia de malezas e impedir el contacto entre las hojas de lechuga y el suelo, disminuyendo posibles riesgos de contaminación con agentes patógenos. Mediante riego por goteo se mantuvo la humedad del suelo con un contenido hídrico cercano a la capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo.

Figura 1. Esquema y fotografía del ensayo experimental

Figure 1. Scheme and photograph of the experimental trial



Fuente: elaboración propia de los autores. Source: own elaboration.

El residuo de feedlot utilizado provino de la limpieza de los corrales de encierre de bovinos, compuesto por materia fecal, orina, restos de alimentos y tierra. El aplicado como enmienda en el ensayo del año 2021 fue estabilizado mediante un proceso de compostaje en un período de un año, mientras que en el año 2022 el material aplicado tuvo un proceso de compostaje corto, completando la etapa termofílica (con temperaturas superiores a 55 °C) al menos por tres días, diferenciándose del aplicado en el año anterior por presentar un mayor contenido de N; no obstante, en ambos casos presentó una relación C/N menor a 10. La Tabla 1 muestra propiedades químicas y físico-químicas del residuo pecuario utilizado como enmienda y la dosis de N aplicada según el planteo experimental. Los métodos usados para la caracterización fueron: materia seca (MS) por secado en estufa, materia orgánica total (MO) por Walkley y Black, pH (1:2,5) por potenciometría, conductividad eléctrica (CE) por conductímetro, fósforo extractable (P) por Bray I y nitrógeno total (Nt) por Kjeldhal. En Page et al. (1982) y Klute (1988) se encuentran descriptos los métodos utilizados en los análisis químicos y fisicoquímicos de esta experiencia.

Los tratamientos se repitieron sobre las mismas parcelas en los dos años de ensayo. Las aplicaciones se realizaron los días 12/10/2021 y 30/08/2022 para el primer y segundo año de ensayo, respectivamente. Se aplicaron dosis equivalentes a 20 tn ha⁻¹ y 35 tn ha⁻¹ de compost de residuo de feedlot en el primer año de ensayo y de 15 tn ha⁻¹ y 30 tn ha⁻¹ en el segundo, correspondiendo en ambos años a los tratamientos D1 y D2 (Figura 1). En el primer año la

dosis de aplicación del tratamiento D1 se estableció según los requerimientos de N del cultivo de lechuga de 120 kg N ha⁻¹ para los rendimientos promedios de la zona (30.000 kg ha⁻¹) y la dosis del tratamiento D2 correspondió a la frecuentemente aplicada por los productores regionales. En el segundo año D1 fue definida en función de los resultados del primer año y D2 se estableció según las dosis máximas aplicadas por los productores regionales. En ambos años, las parcelas testigo (T) no recibieron ninguna aplicación de enmiendas ni fertilizantes inorgánicos.

Tabla 1. Propiedades químicas y físico químicas del compost residuo de feedlot aplicado y cantidad de nitrógeno correspondiente D1 (N-D1) y a D2 (N-D2) en los dos años de ensayo

Table 1. Chemical and physicochemical properties of the feedlot residue compost applied and the corresponding amount of nitrogen D1 (ND1) and D2 (ND2) in the two years of the test

Ciclo de ensayo	MS (%)	MO (%)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	P (ppm)	Nt (%)	N-D1 (kg ha ⁻¹)	N-D2 (kg ha ⁻¹)
2021	80	12,0	7,5	9,5	565	0,8	128	224
2022	57	46,4	9,1	7,9	760	3,0	250	5000

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

El trasplante se realizó al día siguiente de la aplicación, en un marco de plantación de 0,20 m x 0,20 m con plantines de la variedad de lechuga Crespa Verde Isabela (*Sakata Seeds*) en el ciclo 2021 y Regina 2000 Mantecosa en el 2022. La cosecha tuvo lugar a los 43 días del trasplante en el ensayo del año 2021 y a los 41 días en el 2022, descartando las plantas de los bordes de las parcelas. Se midió el rendimiento en peso fresco (PF) de todas las plantas cosechadas (g pl⁻¹) y en peso seco (PS), colocando tres plantas por cada repetición de cada tratamiento en estufa a 60 °C hasta peso constante.

El análisis de N en planta se realizó sobre una muestra de la parte aérea de una planta para cada repetición y tratamiento, determinando la proporción de N total en la MS (%) por el método de Kjeldahl. Con los datos obtenidos se calcularon y analizaron las siguientes variables: rendimiento en PF y PS, contenido de N en la MS (%), N absorbido (Nabs), y la eficiencia aparente de recuperación de N (EARN) a partir de la ecuación 1 (Zemenchik y Albrecht, 2002):

$$EARN: (Nabs D - Nabs t0) / Napl * 100 \quad (1)$$

Donde:

Nabs D: kg de nitrógeno absorbido por el cultivo en los tratamientos con aplicación de residuo (D1 y D2).

Nabs t0: kg de nitrógeno absorbido por el cultivo en el tratamiento sin aplicación de residuo.

Napl: kg de N aplicado con el residuo.

En el suelo se midió el contenido de N-NO₃⁻ (nitrógeno de nitratos) por método colorimétrico del fenoldisulfónico. En el primer año, se determinó entre los 0 y 20 cm de profundidad 16 días posteriormente a la aplicación y después de la cosecha del cultivo, realizándose también, en este mismo momento, la determinación en muestras extraídas entre los 100 y 120

cm de profundidad después de simular mediante riego una precipitación de 200 mm. Los resultados del primer año definieron modificaciones en el diseño de los momentos y profundidades de muestreo del segundo año en busca de mayor sensibilidad de los resultados a los tratamientos. Se realizaron muestreos de suelo solamente al finalizar el ciclo del cultivo, de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm. Además, para medir el contenido de N-NO_3^- en profundidad, en el segundo año se realizó el muestreo a los 60 cm. Los muestreos realizados a los 60 y 100 cm de profundidad fueron para determinar si hubo un aumento del contenido de N-NO_3^- que implique un riesgo de lixiviación como consecuencia de la aplicación de la enmienda. El criterio para esta modificación fue que la mayor parte de las raíces del cultivo de lechuga, sin restricciones de humedad, no alcanzan esa profundidad. El muestreo de suelo se realizó con barreno a las diferentes profundidades, extrayendo tres submuestras de cada unidad experimental para obtener una muestra compuesta. Fueron nueve muestras compuestas por profundidad en cada año, correspondientes a los diferentes tratamientos (T; D1 y D2) con tres repeticiones.

La determinación de MO se realizó por el método de Walkley y Black al finalizar los ciclos del cultivo, en muestras de suelo extraídas de 0 a 20 cm de profundidad en el primer ciclo (2021), mientras que en el segundo año fue de 0 a 10 y de 10 a 20 cm.

El monitoreo de otros efectos de la aplicación en el suelo se realizó mediante la estimación de la actividad biológica global (ABG), midiendo respiración basal (USDA, 1999) a los siete días de aplicación y al finalizar cada ciclo del cultivo, se midió pH y conductividad eléctrica (CE) de 0-20 cm de profundidad en el primer año, y de 0-10 y de 10-20 cm para el segundo año.

Para conocer la significancia estadística de los resultados obtenidos se realizó análisis de varianza y comparación de medias (Fisher, $p < 0,05$) con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

Resultados y discusión

Efectos sobre el cultivo de la aplicación de residuo de feedlot

En el primer año del ensayo, año 2021, la aplicación de la enmienda no generó efectos negativos en el desarrollo inicial de los plantines de lechuga, no registrándose muertes de los mismos después del trasplante en ninguno de los tratamientos, resultado esperable ya que el uso de estiércol vacuno estabilizado ha demostrado ser seguro para su uso en el cultivo de lechuga (Huerta Muñoz et al., 2015).

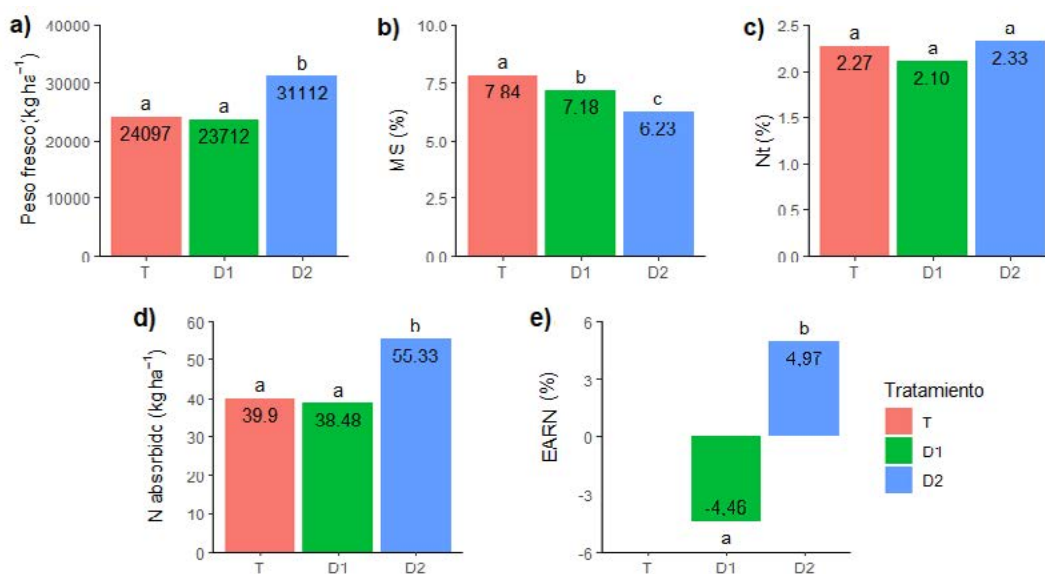
En cuanto al rendimiento en peso fresco (PF) se observaron diferencias significativas en el tratamiento D2 ($124,45 \text{ g pl}^{-1}$) con respecto a T ($96,39 \text{ g pl}^{-1}$) y D1 ($94,85 \text{ g pl}^{-1}$). Expresados en rendimiento por superficie, los valores ascienden a $31.112 \text{ kg ha}^{-1}$, $24.097 \text{ kg ha}^{-1}$, y $23.712 \text{ kg ha}^{-1}$ para D2, T y D1 respectivamente (Figura 2a), lo que representó un aumento del 29% entre D2 y T. Paterlini et al. (2019) también reportaron una respuesta positiva del rendimiento en PF en ensayos con aplicaciones de compost avícola, aunque con valores inferiores al utilizar una variedad de lechuga morada, que presenta menor porte.

Las determinaciones realizadas en peso seco (PS) por planta también mostraron un aumento en el rendimiento con la mayor dosis de aplicación, con medias de 7,79 g pl⁻¹ (T), 7,33 g pl⁻¹ (D1) y 9,50 g pl⁻¹ (D2). En tanto que el contenido de MS (%) en hojas mostró una disminución con las mayores dosis de aplicación, encontrando diferencias significativas entre D2 (MS% = 6,23) y los otros tratamientos (7,18% en D1 y 7,84% en T) (Figura 2b). Los valores de MS fueron, en general, mayores a los reportados por Sánchez (2010) en ensayos de lechuga crespa, con diferentes horarios de corte y fechas de siembra, cuando se aplicó enmienda de cama de pollo combinada con fertilizante inorgánico.

Por otro lado, el contenido de N en relación con la MS de las hojas no presentó diferencias significativas entre tratamientos con valores medios de 2,33%, 2,10% y 2,27% para D2, D1 y T respectivamente (Figura 2c). Estos valores son similares a los informados por Aruani et al. (2008) en ensayos de campo con lechuga de la variedad Maravilla en tratamientos sin fertilizar, e inferiores a los tratamientos donde se aplicó una dosis equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N con enmienda orgánica de cama de pollo y con fertilización inorgánica con nitrato de amonio. Los datos de N con relación a la MS de las hojas del cultivo permitieron calcular el N absorbido por unidad de superficie (Nabs), donde se diferenció el tratamiento D2 de los restantes, resultando un aumento de 25% para D2 con respecto a T, lo que se explica principalmente por el mayor rendimiento obtenido en D2 (Figura 2d).

La eficiencia aparente de recuperación de N (EARN) mostró diferencias entre los tratamientos con aplicación, siendo de 4,97% en D2 y -4,46% en D1 (Figura 2e). La eficiencia negativa en D1 se debe a que no hubo aumento en la absorción de N con respecto al testigo (rendimientos y % Nt similares) ante la aplicación de N. Es decir que ese N aportado con la enmienda no fue capturado por el cultivo y, por lo tanto, es susceptible de ser transferido a la atmósfera o al agua subterránea si no es retenido en el suelo.

Figura 2. Valores medios del año 2021 de a) rendimiento en peso fresco (PF); b) proporción de materia seca (MS) en las hojas; c) nitrógeno total en la materia seca de las hojas (Nt), d) nitrógeno absorbido por el cultivo (Nabs) y e) eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (EARN)
Figure 2. Average values of the year 2021 of a) yield in fresh weight (PF); b) proporción de dry matter (DM) in the leaves; c) total nitrogen in the dry matter of the leaves (Nt), d) nitrogen absorbed by the crop (Nabs) and e) apparent efficiency of nitrogen recovery (EARN)



Distintas letras en la misma columna representan diferencias estadísticas de las medias (prueba Fisher, valor $p < 0.05$). Fuente: elaboración propia. Different letters in the same column represent statistical differences of the means (Fisher test, p value < 0.05). Source: own elaboration.

En el ciclo de ensayo 2022, a diferencia del ciclo 2021, se pudo observar una pérdida del 3,5% de los plantines en D2 y del 2,1% en D1 en la primera semana después del trasplante. Este efecto puede deberse a que las enmiendas orgánicas, en ocasiones, provocan daños por fitotoxicidad, lo que ha sido atribuido a la presencia de sustancias tóxicas por la insuficiente biodegradación de la materia orgánica (Zubillaga et al., 2008). Las camas y estiércoles frescos suelen ser ricos en formas nitrogenadas que liberan importantes cantidades de amoníaco que posee efecto fitotóxico, siendo las *Asteraceas una familia sensible* (Britto y Kronzucker, 2002).

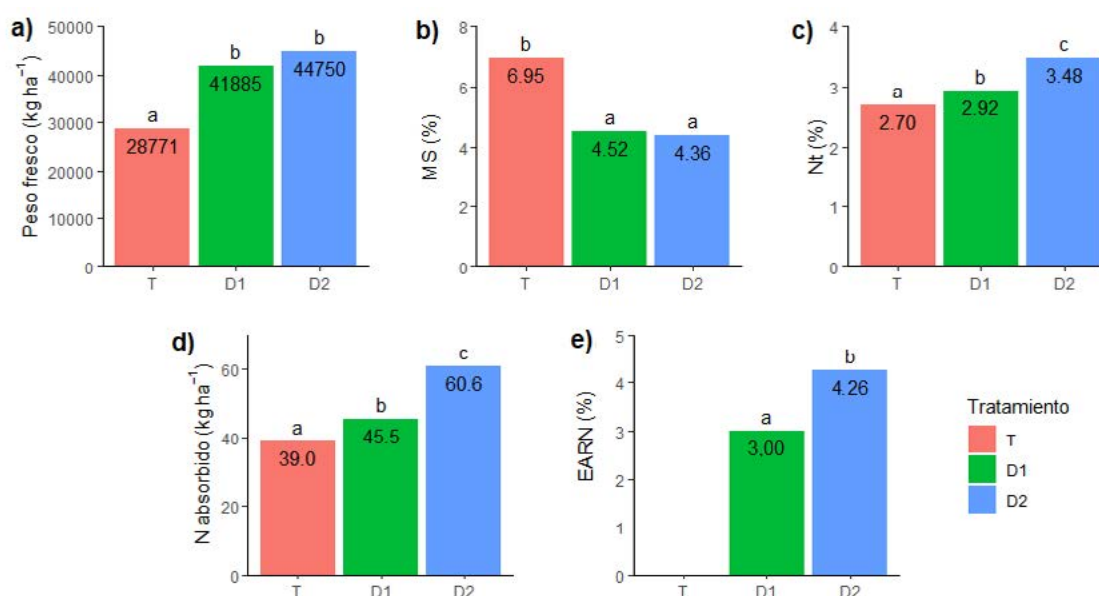
El rendimiento medio del cultivo en PF por unidad de superficie fue de 44.750, 41.885 y 28.771 kg ha⁻¹ para los tratamientos D2, D1 y T respectivamente (Figura 3a), correspondiendo a aumentos de 55% en D2 y de 46% en D1 respecto al testigo.

La proporción de MS fue menor en los tratamientos con aplicación del compost, al igual que en el ciclo anterior, presentando en esta oportunidad el tratamiento T un valor medio de 6,95%, mientras que en los tratamientos restantes fue de 4,52% en D1 y 4,36% en D2 (Figura 3b). El contenido de N en hojas del cultivo aumentó a medida que las dosis de aplicación del

compost fueron mayores, pasando de valores medios de 2,7% en T a 2,92% en D1 y a 3,48% en D2 (Figura 3c), siendo significativas las diferencias entre todos los tratamientos, comportamiento también indicado por Fontes et al. (1997).

A diferencia del primer año, en el año 2022 se obtuvieron valores de N absorbido (Nabs) por unidad de superficie estadísticamente diferentes entre todos los tratamientos producto de un mayor rendimiento y una mayor proporción de N en hoja (Figura 3d). Los valores medios de EARN fueron de 4,26 en D2 y 3,00 en D1 (Figura 3e).

Figura 3. Valores medios del año 2022 de a) rendimiento en peso fresco (PF), b) proporción de materia seca (MS) en las hojas, c) nitrógeno total en la materia seca de las hojas (Nt), d) nitrógeno absorbido por el cultivo (Nabs) y e) eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (EARN)
Figure 3. Average values of the year 2022 of a) yield in fresh weight (PF), b) proportion of dry matter (DM) in the leaves, c) total nitrogen in the dry matter of the leaves (Nt), d) nitrogen absorbed by the crop (Nabs) and e) apparent efficiency of nitrogen recovery (EARN)



Distintas letras en la misma columna representan diferencias estadísticas de las medias (prueba Fisher, valor $p < 0.05$). Fuente: elaboración propia. Different letters in the same column represent statistical differences of the means (Fisher test, p value < 0.05). Source: own elaboration.

Los resultados muestran en ambos años de la experiencia una respuesta positiva del rendimiento del cultivo de lechuga a la aplicación de compost de residuo de feedlot, con valores similares a los reportados por Aruani et al. (2008) con estiércol. Los rendimientos en peso fresco fueron mayores a medida que aumentaron las dosis de aplicación, a excepción de D1 en el primer año que no evidenció diferencias significativas con el testigo. Estos resultados permiten presumir que la cantidad de N aplicado en D1 no fue suficiente para la demanda de N del cultivo a pesar de haber sido calculada para cubrir los requerimientos, lo que se podría deber a que el N de la enmienda de residuo de feedlot no estuvo totalmente disponible para ser absorbido por el cultivo, ya sea por una menor tasa de mineralización o por una alta transferencia a la atmósfera por volatilización. Por otra parte, el aumento en la concentración de N en las hojas observada en el segundo año de ensayo y en la absorción de N en los

dos años con la aplicación de la enmienda coinciden con lo obtenido por Fontes et al. (1997), quienes también reportaron aumentos en la absorción y concentración de N en plantas de lechuga a medida que aumentaron las dosis de fertilización nitrogenada. La eficiencia aparente de recuperación de N (EARN) presentó diferencias significativas entre tratamientos en los dos años del ensayo, con valores negativos en el tratamiento D1 del primer año. Este resultado se asocia a que en este tratamiento el rendimiento, la proporción de MS y el N en las hojas no presentaron diferencias significativas con el testigo, a pesar de haber recibido el tratamiento D1 aporte de N con la aplicación de la enmienda. La EARN de ambos años fue inferior a las reportadas por Aruani et al. (2008) con aplicación de N mineral y residuo orgánico de estiércol de pollo en el cultivo de lechuga. Estos autores reportaron valores de EARN de 16% con aplicaciones de fertilizantes industriales; en cambio, cuando utilizaron como residuo orgánico estiércol de pollo, la EARN fue del orden del 25%.

Según Cogger et al. (2001), la EARN es un índice de eficiencia que tiende a disminuir al incrementarse el N total aplicado por encima de los requerimientos del cultivo; sin embargo, en esta experiencia no se observó dicha relación. El aumento de EARN en la dosis más alta es atribuible a la mayor producción de materia seca y al aumento en la concentración de N en las hojas del cultivo. Se debe considerar que el tratamiento D2 correspondió a dosis de N superiores a los requerimientos del cultivo y que, aunque el rendimiento obtenido fue mayor, el cultivo no logró recuperar la totalidad del excedente de N aplicado con la enmienda.

Efectos de la aplicación de la enmienda de residuo de feedlot en el suelo

Efectos en el contenido de N de nitratos

En el primer año de ensayo, a los 16 días del trasplante de los plantines de lechuga, los valores determinados de $N-NO_3^-$ fueron entre 17 a 18 ppm, sin diferencias significativas entre tratamientos, lo que se podría atribuir a un período de tiempo insuficiente para la liberación del N por mineralización del compost (Smith y Peterson, 1982). Al finalizar el ciclo del cultivo tampoco se encontraron diferencias estadísticas en ninguna profundidad (Tabla 2) en consonancia con lo encontrado por Aruani et al. (2008) al aplicar enmienda en el cultivo de lechuga con cama de pollo.

Tabla 2. Contenido de $N-NO_3^-$ al finalizar el primer ciclo de cultivo
Table 2. Content of $N-NO_3^-$ at the end of the first crop cycle

Tratamiento	Profundidad	
	0-20	100-120
T	24,12 a	23,00 a
D1	25,36 a	23,10 a
D2	23,10 a	21,70 a

Distintas letras en la misma columna representan diferencias estadísticas de las medias (prueba Fisher, valor $p < 0.05$). Fuente: elaboración propia. Different letters in the same column represent statistical differences of the means (Fisher test, p value < 0.05). Source: own elaboration.

Estos resultados son contrapuestos a lo reportado por Trejo-Escareño et al. (2013) y permiten inferir que, si bien no queda en el suelo N inorgánico residual de la aplicación de residuo de feedlot que podría estar disponible para la absorción de cultivos posteriores, tampoco se manifiesta un riesgo de contaminación del agua subterránea por lixiviación de N-NO₃-.

En el segundo año de ensayo se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento D2 y T para la primera profundidad medida (0-10), presentando el mayor contenido el tratamiento D2. En la profundidad de 10 a 20 cm los tratamientos D1 y D2 fueron los de mayor contenido de nitratos, y en la profundidad de 60 cm ya no se observó diferencias entre tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de N- NO₃- en los tratamientos a diferentes profundidades del suelo al finalizar el segundo ciclo del cultivo

Table 3. Content of N-NO₃- in the treatments at different soil depths at the end of the second crop cycle

Tratamiento	N-NO ₃ - (ppm)		
	0-10cm	10-20 cm	60 cm
T	6.98 a	2,18 a	8,11 a
D1	11.71 a	7,21 b	4,88 a
D2	27,61b	7,14 b	6,57 a

Distintas letras en la misma columna representan diferencias estadísticas de las medias (prueba Fisher, valor $p < 0.05$). Fuente: elaboración propia. Different letters in the same column represent statistical differences of the means (Fisher test, p value < 0.05). Source: own elaboration.

El mayor contenido de N-NO₃- residual con la aplicación de la mayor dosis (D2) de enmienda con compost de residuos de feedlot en los estratos superiores representa mayor disponibilidad de N para cultivos posteriores, aunque también mayor cantidad de N susceptible a la volatilización. Los resultados mostraron que no hubo efectos en las aplicaciones con enmienda con compost de residuos de feedlot en el contenido de N-NO₃- a profundidades mayores a las alcanzadas por las raíces del cultivo; es decir, que no se evidenció un riesgo de lixiviación de N a la napa freática. Lewis et al. (2003) reportaron que la lixiviación de nitrógeno por debajo de la profundidad enraizable de los cultivos tiende a incrementarse con el aumento de las dosis de aplicación, aspecto que no se comprobó en esta experiencia a pesar de que en el primer año de ensayo se aplicó una lámina de agua de 200 mm.

Efectos en el contenido de MO

En el primer año de ensayo, si bien se observó una tendencia de aumento en el contenido de MO con el aumento en la aplicación de enmienda en la profundidad del suelo de 0 a 20 cm, los valores medios no presentaron diferencias significativas, siendo de 1,37% en el tratamiento T, 2,21% en D1 y 2,54% en D2. Paterlini et al. (2019), en determinaciones realizadas en la misma profundidad, tampoco encontraron diferencias en el contenido de MO ante el agregado de compost avícola.

En el segundo año, en la profundidad de 0 a 10 cm hubo un aumento de hasta el 46% del contenido de MO en los tratamientos con aplicación de la enmienda, mientras que de 10 a 20 cm se encontraron valores similares entre tratamientos. En la Tabla 4 se presentan los valores medios de MO determinados en las dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm) al finalizar el ciclo del cultivo del segundo año de ensayo. Resultados similares han sido reportados por Osorio et al. (2013), quienes, en ensayos de campo en un suelo salino con riego por goteo, obtuvieron aumentos significativos en el contenido de MO del suelo con aplicación de estiércol vacuno en el cultivo de lechuga.

Las diferencias encontradas en los valores de MO en el segundo año de ensayo se pueden atribuir al efecto de la aplicación consecutiva de la enmienda, como así también a la menor profundidad de determinación que permitió manifestar las diferencias.

Tabla 4. Valores medios de MO en los diferentes tratamientos al finalizar el segundo ciclo de cultivo
Table 4. Mean MO values in the different treatments at the end of the second growing cycle

Tratamiento	MO (%)	
	0-10 cm	10-20 cm
D2	3,43 b	1,57 a
D1	3,27 b	1,58 a
T	2,34 a	1,50 a

Distintas letras en la misma columna representan diferencias estadísticas de las medias (prueba Fisher, valor $p < 0.05$). Fuente: elaboración propia. Different letters in the same column represent statistical differences of the means (Fisher test, p value < 0.05). Source: own elaboration.

Efectos en la actividad biológica del suelo

En el suelo la actividad biológica estimada manifestó un aumento con la aplicación del residuo. Los valores de dióxido de carbono desprendido ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ suelo seco día⁻¹) fueron de 2,43 en T, 3,71 en D1 y de 12,28 en D2, presentando diferencias significativas entre el tratamiento D2 y los restantes. Estos resultados indican un incremento del 78% en la actividad biológica con la mayor dosis de aplicación, valor que se encuentra dentro del rango indicado por Albiach (1997), quien reportó incrementos entre el 15 y el 113% en el índice de actividad biológica del suelo con diferentes aportes de enmiendas orgánicas. La respiración microbiana evidencia la mineralización en el suelo (Aruani et al., 2008), lo que indica un mayor ciclado de nutrientes cuando se aplican residuos orgánicos.

Efecto sobre variables físico-químicas del suelo

La Tabla 5 muestra los valores medios determinados de pH y CE en los dos años del ensayo.

Tabla 5. Valores medios de pH y CE en el suelo para los distintos tratamientos y ciclos de ensayo
Table 5. Average values of pH and EC in the soil for the different treatments and test cycles

Tratamiento	1° año				2° año	
	0-20 cm		0-10 cm		(10-20 cm)	
	pH	CE (dSm-1)	pH	CE (dSm-1)	pH	CE (dSm-1)
D2	7,94 a	0.24 a	7,75 b	0,42 c	8,21 a	0,20 b
D1	7,97 a	0.29 a	7,76 b	0,37 b	8,31 a	0,15 ab
T	8,25 a	0.19 a	8,1 a	0,18 a	8,44 a	0,14 a

Distintas letras en la misma columna representan diferencias estadísticas de las medias (prueba Fisher, valor $p < 0.05$). Fuente: elaboración propia. Different letters in the same column represent statistical differences of the means (Fisher test, p value < 0.05). Source: own elaboration.

De acuerdo con los resultados obtenidos, no se produjeron cambios significativos en las variables pH y CE cuando se aplicó residuo de feedlot durante el primer año de estudio. Sin embargo, en el segundo año el pH presentó un valor medio significativamente menor en los tratamientos con aplicación de la enmienda con respecto al testigo, lo que se podría explicar por una mayor liberación de ácidos orgánicos en la transformación de la materia orgánica de la enmienda, debido al incremento de la actividad microbiana. Chang et al. (1991) reportaron disminución en los valores de pH del suelo en relación al aumento de dosis de estiércol de feedlot en ensayos de larga duración, atribuyendo el descenso del pH a la nitrificación del NH_4^+ y a los ácidos orgánicos producidos durante la descomposición de la fracción orgánica del estiércol. Estos resultados se pueden comparar con los reportados por Huerta Muñoz et al. (2015), quienes determinaron aumentos de pH al evaluar abonos orgánicos en plantas de lechuga. Si bien los resultados son contrastantes, en ambos casos se observa un efecto positivo sobre la reacción del suelo de la aplicación de residuos orgánicos; tanto el aumento de pH observado por estos autores (de 5,5 a 6,10), como la disminución del mismo en esta experiencia, fueron efectos a favor de la neutralidad de la acidez del suelo. En cuanto a la CE, se observó un aumento de la misma en los primeros 10 cm de profundidad, con diferencias entre todos los tratamientos, mientras que de 10 a 20 cm de profundidad la diferencia fue significativa solo entre el tratamiento T y D2, siendo este último el de mayor valor. Estos aumentos significativos de CE del suelo ante la aplicación de residuos de feedlot compostados no alcanzaron al valor de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ establecido como límite de tolerancia del cultivo de lechuga (Maas, 1993), debido a la baja CE inicial del suelo donde se desarrolló el experimento. Paterlini et al. (2019) también encontraron aumentos significativos en la CE del suelo sin efectos negativos en la producción en el mismo cultivo. Los mayores valores de la CE del suelo registrados con el agregado de enmiendas orgánicas sugieren que es un parámetro a monitorear en los suelos donde se aplican en forma continua este tipo de enmiendas para evitar la salinización de los mismos y mermas en los rendimientos del cultivo.

Conclusiones

Los resultados de la experiencia confirman que la aplicación de enmienda orgánica con residuos de feedlot estabilizados mediante compostaje, tiene efectos positivos sobre el rendimiento de lechuga. Sin embargo, la baja eficiencia de utilización por el cultivo del N suministrado debe considerarse al aplicar dosis ampliamente superiores a los requerimientos. El incremento de la actividad biológica con esta enmienda podría contribuir a mejorar las propiedades químicas, físico-químicas y biológicas del suelo. Por otro lado, las variaciones en el pH y la CE requieren ser monitoreadas cuando se realizan aplicaciones consecutivas, para evitar impactos negativos que afecten la calidad de los sistemas suelo-cultivo. También se considera necesario evaluar el efecto en el suelo de otros elementos potencialmente contaminantes presentes en los residuos de feedlot como fósforo y elementos trazas.

En esta experiencia, parte del N aplicado fue fijado a la MO del suelo y no se observó riesgo de contaminación de agua subterránea por lixiviación de nitratos, al no detectarse un aumento en su contenido a profundidades mayores a la alcanzada por las raíces del cultivo. Por otro lado, se podría presumir que, en las dosis aplicadas, hay una gran transferencia de N a la atmósfera, siendo un aspecto relevante a investigar para generar estrategias de mitigación de los efectos ambientales negativos.

Bibliografía

- Albiach, R. (1997). *Estudio de varios índices de actividad biológica del suelo en relación a diferentes aportaciones de enmiendas orgánicas*. [Tesis doctoral]. Universitat de Valencia.
- Aruani, M.C., Gili, P., Fernández, L., Junyent, R.G., Reeb, P., y Sánchez, E. (2008). Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquén-Argentina. *Agro Sur*, 36(3): 147-157. <http://dx.doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n3-04>
- Bittman, S. y Mikkelsen, R. (2009). Emisiones de amoníaco de operaciones agrícolas: Ganadería. *Mejores Cultivos*, 93(1), 28-31.
- Botana, M.I. (2003). Una aproximación al análisis de un sector periurbano platense: Conflictos e incidencias de actores sociales en el territorio. *Anales Linta*, 3(2), 91-102.
- Britto, D.T. y Kronzucker, H.J. (2002). NH₄⁺ Toxicity in Higher Plants: A Critical Review. *Journal of Plant Physiology*, 159, 567-584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Bugarín-Montoya, R., Virgen-Ponce, M., Galvis-Spinola, A., García-Paredes, D., Hernández-Mendoza, T., Bojorquez-Serrano, I. y Madueño-Molina, A. (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro*, 23(2), 93-98.
- Chang, C., Sommerfeldt, T.G. y Entz, T. (1991). Soil Chemistry After Eleven Annual Applications of Cattle Feedlot Manure. *Journal of Environmental Quality*, 20(2), 475-480. <https://doi.org/10.2134/jeq1991.00472425002000020022x>
- Cogger, C.G., Bary, A.I., Fransen, S.C. y Sullivan, D.M. (2001). Seven Years of Biosolids Versus Inorganic Nitrogen Applications to Tall Fescue. *Journal of Environmental Quality*, 30(6), 2188-2194. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2188>
- Degioanni, A. y Amín, M.S. (2018). Función depuradora del suelo. *Ab Intus*, 2, 83-88.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2016). *Infostat Versión 2016*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Fontes, P.C.R., Pereira, P.R.G. y Conde, R.M. (1997). Critical Chlorophyll, Total Nitrogen, and Nitrate-nitrogen in Leaves Associated to Maximum Lettuce Yield. *Journal of Plant Nutrition*, 20(9), 1061-1068. <https://doi.org/10.1080/01904169709365318>
- Huerta Muñoz, E., Cruz Hernández, J., Aguirre Álvarez, L., Caballero Mata, R., y Pérez Hidalgo, L.F. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 179-185.
- Klute, A. (1988). *Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods* (2da. edición). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

- Lewis, D.R., McGechan, M.B. y McTaggart, I.P. (2003). Simulating Field-scale Nitrogen Management Scenarios Involving Fertiliser and Slurry Applications. *Agricultural Systems*, 76(1), 159-180. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00032-X)
- Maas, E.V. (1993). Testing Crops for Salinity Tolerance. En VV.AA., *Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses* (pp. 234-247). University of Nebraska.
- Olivares-Campos, M.A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J.L. y Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27-37.
- Osorio, M.E., Mesías, J.M., y Araya, R. (2013). Estiércol de vacuno estabilizado y daño por boro en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. del río, en el valle de Lluta, Chile. *Idesia (Arica)*, 31(1), 15-25. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-34292013000100003>
- Page, A.L., Miller R.H. y Keeney D.R. (1982). *Methods of Soil Analysis II. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- 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), 38-50.
- Sánchez, T.M. (2010). Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Semiárida*, 21, 29-36.
- Smith, J.H. y Peterson, J.R. (1982). Recycling of Nitrogen through Land Application of Agricultural, Food Processing, and Municipal Wastes. *Nitrogen in Agricultural Soils*, 22, 791-831. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr22.c21>
- Trejo-Escareño, H.I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J.D. y Vázquez-Vázquez, C. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 727-738. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i5.1171>
- USDA (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*. USDA-Agriculture Research Service, Soil Conservation Service.
- Zemenchik, R.A. y Albrecht, K.A. (2002). Nitrogen Use Efficiency and Apparent Nitrogen Recovery of Kentucky Bluegrass, Smooth Bromegrass, and Orchardgrass. *Agronomy Journal*, 94, 421-428. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.4210>
- Zubillaga, M.S., Branzini, A. y Lavado, R.S. (2008). Problemas de fitotoxicidad en compost. *Pilquen-Sección Agronomía*, 9, 1-9.