

## INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DEL ABONO SOBRE LAS FRACCIONES ORGÁNICAS EN SUELOS DE LA PAMPA

Daiana Susana Huespe<sup>1,\*</sup>, Juan Alberto Galantini<sup>2,3</sup>,  
Luciano Martín Baraldi<sup>4</sup>, Cristian Álvarez<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup> Agencia de Extensión Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Guatraché, La Pampa.

<sup>2</sup> Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

<sup>3</sup> Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

<sup>4</sup> Laboratorio de Servicios Analíticos de Suelos, Plantas y Ambiente (LABSPA). Perteneciente al CERZOS-CONICET-UNS., Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

<sup>5</sup> Agencia de Extensión Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) General Pico, La Pampa.

<sup>6</sup> Facultad de agronomía, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Santa Rosa, La Pampa.

### RESUMEN

El uso de agua salina en sistemas hortícolas degrada el suelo y reduce la productividad. El objetivo de este estudio fue analizar cómo el agua de diferente calidad y la aplicación de abono orgánico afectan la productividad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y las fracciones de carbono orgánico en dos suelos de diferentes texturas característicos del centro de La Pampa. Se evaluó el cultivo de lechuga en dos suelos, uno arenoso y otro franco arenoso. El tratamiento principal se regó con agua de conductividad eléctrica de 1,0 (baja salinidad) y 2,0 (alta salinidad) dS m<sup>-1</sup>. Se fertilizó con una dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, usando tres combinaciones de las fuentes abono orgánico y urea: C0 (100:0), C2 (70:30) y C4 (40:60). Se evaluaron cuatro ciclos consecutivos durante los años 2020 y 2021. Se analizó: materia seca de raíces (MS<sub>R</sub>), aérea (MS<sub>A</sub>) y total (MS<sub>T</sub>), la relación MS<sub>A</sub>/MS<sub>R</sub>, la eficiencia de uso del agua y la tasa de crecimiento. Se determinó el carbono orgánico (CO) total (COT) y el CO particulado (COP). Al evaluar el efecto acumulado se observó una interacción significativa entre el suelo de textura arenosa y el de textura franco arenosa (p<0,05). En el suelo arenoso el valor máximo de MS<sub>T</sub> (1504 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con agua de CE de 1,0 dS m<sup>-1</sup> con una disminución de 18% cuando se regó con agua con CE de 2,0 dS m<sup>-1</sup>. Mientras que, en el suelo franco arenoso el valor máximo de MS<sub>T</sub> (1385 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con agua de 1,0 dS m<sup>-1</sup> con una disminución de 54% cuando se regó con agua con CE de 2,0 dS m<sup>-1</sup>. En el suelo franco arenoso la aplicación de abono orgánico ayudó a mitigar el efecto del agua salina en las variables MS<sub>T</sub>, MS<sub>A</sub> y MS<sub>R</sub>. Los cambios en el COP producidos por los tratamientos fueron diferentes en ambos suelos. Los índices de labilidad fueron más sensibles en el suelo arenoso para evidenciar cambios asociados al manejo. El índice de carbono orgánico fue sensible para evidenciar diferencias en el suelo franco arenoso. La textura del suelo condiciona la respuesta a la aplicación de agua y abono orgánico.

**Palabras clave:** productividad de lechuga, riego, calidad del suelo.

\* Autor de contacto:  
huespe.daiana@inta.gob.ar

Recibido:  
15-07-24

Recibido con revisiones:  
21-10-24

Aceptado:  
31-10-24

### WATER QUALITY AND MANURE INFLUENCE ON ORGANIC FRACTIONS OF LA PAMPA SOILS

#### ABSTRACT

The use of saline water in horticultural systems degrades soil and reduces productivity. The objective of this study was to analyze how irrigation water quality and the application of organic manure affect lettuce (*Lactuca sativa* L.) productivity and organic carbon fractions in characteristic on two soils of different textu-

res of central La Pampa province. Lettuce cultivation was evaluated in two soils, one sandy and one sandy loam soils. The main treatment was irrigation with water of contrasting electrical conductivity (CE): 1.0 (low salinity) and 2.0 (high salinity)  $\text{dS m}^{-1}$ . Fertilization was carried out at a dose of  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ , using three combinations of organic manure and urea sources: C0 (100:0), C2 (70:30) and C4 (40:60). Four consecutive cycles were evaluated during the years 2020 and 2021. The following variables were analyzed: root dry matter ( $\text{MS}_r$ ), aboveground dry matter (MSA) and total dry matter ( $\text{MS}_t$ ), the  $\text{MS}_A/\text{MS}_r$  ratio, water use efficiency and growth rate. Total (COT) and particulate (COP) organic carbon were determined. When evaluating the cumulative effect, a significant interaction was observed between the sandy textured soil and the sandy loam soil ( $p < 0.05$ ). In the sandy soil, the maximum  $\text{MS}_t$  value ( $1504 \text{ kg ha}^{-1}$ ) was obtained under low salinity irrigation water, in comparison with a decrease of 18% when irrigated with water with an CE of  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$ . In contrast, in the sandy loam soil the maximum  $\text{MS}_t$  value ( $1385 \text{ kg ha}^{-1}$ ) was obtained with low salinity water with a decrease of 54% when irrigated with water with CE of  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$ . In such soil, the application of organic manure helped mitigate the effect of saline water on the  $\text{MS}_r$ ,  $\text{MS}_A$  and  $\text{MS}_r$  variables. The changes in the COP produced by the treatments were different in each soil. The lability indexes were more sensitive to management practices in the sandy soil. The organic carbon index was sensitive to show differences in sandy loam soil. Soil texture determines the response of lettuce to the application of water and organic manure.

**Keywords:** lettuce productivity, irrigation, soil quality.

### INTRODUCCIÓN

En La Pampa la producción hortícola representa menos del 5% del consumo provincial generando una demanda insatisfecha tanto en calidad como en cantidad de hortalizas (Rosane, 2014). La producción intensiva implica el uso constante del suelo mediante la sucesión continua de cultivos, el riego con agua de diferente calidad y prácticas culturales inadecuadas, como la incorrecta gestión de la fertilización, las cuales pueden degradar el suelo y afectar la productividad de los cultivos (Bongiovanni Ferreyra et al., 2015). El riego en invernaderos se convierte en una necesidad ya que es el único medio de suministrarle al cultivo el agua y los nutrientes que necesita para su crecimiento y desarrollo. Una gestión inadecuada del agua conlleva asociados problemas como menor productividad y calidad de producto, mayor incidencia de enfermedades, aumento del uso de energía y menor eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, así también tiene efectos importantes sobre el deterioro del suelo (Acosta García y Salvadori Verón, 2017). Asimismo, la salinización del suelo inhibe la capacidad de los organismos descomponedores para utilizar la materia orgánica y un aumento en el contenido de arcilla del suelo puede mediar el efecto negativo de la salinidad sobre la mineralización del carbono orgánico, sin embargo, los efectos interactivos de las concentraciones de las sales del suelo sobre la mineralización de C siguen siendo inciertos (Ruihuan et al., 2021). No obstante, el invernadero es un sistema de producción que puede incrementar la eficiencia en el uso del agua, creando un microclima para mejorar la fotosíntesis de la planta, reduciendo la evapotranspiración excesiva e incrementando los rendimientos (Salazar et al., 2014). Al mismo tiempo, el uso del agua en estos sistemas está íntimamente relacionado con el concepto de fertirrigación, a través del parámetro de calidad. Los mismos engloban la concentración de sales disueltas, estimada por la conductividad eléctrica (CE), la presencia relativa de sodio, estimada por la relación de absorción de sodio (RAS) y el contenido de carbonatos y bicarbonatos (que condicionan el pH). Además, la concentración de cloro, boro, hierro y manganeso; así como los nutrientes calcio, magnesio y sulfatos que determinan el balance final en la aplicación de fertilizantes en la preparación de una solución nutritiva (Castellón Gómez et al., 2015). En tales suelos degradados, se evidenció la pérdida de materia orgánica (MO) en estos suelos cuando son intervenidos por la actividad antrópica (Díaz et al., 2023), afectando tanto a la salud del suelo como a su biodiversidad (Duval et al., 2020).

Una forma de abordar estas dificultades es a través de la aplicación de residuos orgánicos compostados al suelo que permite regenerar a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas del recurso (Iocoli et al., 2017). Si las características de los suelos degradados se recuperan y mejoran con la aplicación de enmiendas orgánicas, el ciclo de nutrientes mejorará como así también, su calidad en general (Moisés et al., 2022). El compost y estiércol de aves de corral han demostrado resultados alentadores en términos de mejora de las condiciones físicas y biológicas en suelos afectados por sales (Saifullah et al., 2018). Las enmiendas orgánicas pueden considerarse fuentes alternativas de MO para los suelos, sin embargo, el comportamiento de las fuentes orgánicas exógenas y su capacidad para influir en la generación de MO estable en los suelos dependerá fundamentalmente de su calidad, el suelo receptor, el manejo del cultivo y el clima (Reyes Sánchez et al., 2022). Su aplicación al suelo puede aumentar los contenidos nutricionales del suelo, teniendo en cuenta que los nutrientes se aportan gradualmente, dependiendo de la mineralización del carbono orgánico, y mejorar la salud del suelo en general, aumentando el contenido de C

y logrando mejoras consolidadas de manera más lenta, en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas (Hernández et al., 2018). El contenido de carbono orgánico total (COT) es un buen indicador de la calidad o de la fertilidad del suelo, sin embargo, las fracciones de COT más sensibles son mejores indicadores ya que el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) es mayor pero estable y el carbono orgánico particulado (COP) es menor pero dinámico (Galantini et al., 2002; Duval et al., 2013). La dinámica y evolución del COT, junto a sus fracciones lábiles, son indicadores utilizados por su importancia en procesos y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Duval et al., 2013). El COT es menos sensible a cambios de manejo a corto o mediano plazo (Bongiorno et al., 2019). Los cambios de uso del suelo provocan alteraciones en los aportes y dinámica del CO, modificando el nivel de equilibrio. Para conocer los cambios a corto plazo producidos por las prácticas de manejo en el CO total es necesario identificar las fracciones más sensibles: COP y COM (Quiroga et al., 2021). El contenido y la calidad del COT son influenciados por la textura del suelo (Galantini et al., 2004), la cual determina la accesibilidad de la materia orgánica del suelo a los organismos descomponedores y un alto contenido de arcilla generalmente inhibe la capacidad de los microorganismos del suelo para descomponer la materia orgánica (Xu et al., 2016). Además, la textura del suelo ha surgido como un factor importante que influye en la acumulación de biomasa microbiana dentro de suelos procedentes de diferentes materiales de origen (Yu Zhu et al., 2024). Sin embargo, no existe información sobre cómo afecta el agregado de residuos agropecuarios biotransformados y su impacto en la dinámica del N en diferentes suelos (Martínez et al., 2020). En este estudio, el objetivo fue analizar cómo el riego con agua de diferente calidad y la aplicación de abono orgánico afectan la productividad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y modifican las fracciones de COT en dos suelos característicos del Centro de La Pampa.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la huerta demostrativa de la Agencia de Extensión Rural INTA General Acha, La Pampa, Argentina (37°36'44,381" 64°56'64,995"), km 28 RN 152. El diseño estadístico fue completamente aleatorizado con 5 repeticiones por tratamiento y por ciclo. Se analizaron dos suelos de texturas diferentes, uno arenoso y otro franco arenoso. En el tratamiento principal (I): se regó con dos calidades de agua con conductividad eléctrica (CE) de 1,0 dS m<sup>-1</sup> considerada de baja salinidad y adecuada para los cultivos y de 2,0 dS m<sup>-1</sup>, de alta salinidad para la zona. En el tratamiento secundario (II): se aplicó una dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> usando tres combinaciones de las fuentes abono orgánico y urea. Las dosis fueron con diferente proporción expresada en gramos de Urea:Abono orgánico: C0 (0,14:0,0), C2 (0,10:1,25) y C4 (0,05:2,50). Se evaluó el cultivo de lechuga (var. Sicilia) en macetas de 1,2 kg dentro de un túnel alto. El inicio del ensayo fue a través de plantines provistos por el Centro Regional de Educación Tecnológica (CERET) de General Pico. Se evaluó el cultivo durante cuatro ciclos consecutivos totales, durante el año 2020 y 2021. En el año 2020, se realizaron dos ciclos consecutivos del cultivo, el primero se desarrolló en la estación de invierno, seguido por el segundo ciclo en la primavera. Durante el año 2021, se realizó el tercer ciclo en invierno y el cuarto ciclo en primavera. Para el análisis de los resultados se consideró el efecto acumulado de los cuatro ciclos de cultivo, el cual corresponde a los datos del último ciclo de cultivo.

#### Suelos utilizados

Se seleccionaron dos suelos contrastantes y característicos de la región pampeana. Uno arenoso, recolectado en el establecimiento rural "Colonia Lía" en General Acha, y otro franco arenoso recolectado en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil de INTA. Para la caracterización de los suelos en estudio, se presentan los valores de algunas propiedades en la profundidad 0- 20 cm (Tabla 1).

**Tabla 1:** Análisis granulométrico (arena, limo, arcilla) en cada suelo a 0-20 cm.

**Table 1:** Granulometric analysis (sand, silt, clay) in each soil at 0-20 cm.

Suelo	Arcilla (a)	Limo (L)	a+L	Arena
	%			
Arenoso	3,2	8,0	11,2	88,8
Franco arenoso	11,8	31,9	43,7	56,3

Se tomaron muestras compuestas de los suelos a evaluar y se realizaron las siguientes determinaciones químicas: carbono orgánico total (COT) por Analizador de Carbono Elemental marca LECO (C-832) (Leco Corporation, St Joseph, MI); pH y conductividad eléctrica (CE) se determinaron por el método potenciométrico en extracto con una relación suelo/agua 1:2,5; fósforo extractable (Pe) (Bray y Kurtz, 1945) (Tabla 2); cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por extracción con acetato de amonio a pH 7 y acetato de sodio y posterior medición de los cationes por espectrometría de emisión por plasma, equipo Shimadzu ICPE 9000 (Tabla 3).

Se calculó el índice de materia orgánica (IMO) propuesto por Quiroga et al. (2005) (Tabla 2), de acuerdo con la ecuación:

$$IMO = MO / (L + A) * 100$$

donde: MO, materia orgánica (%); L, Limo (%); A, Arcilla (%).

**Tabla 2:** Caracterización química edáfica del suelo de 0-20 cm.

**Table 2:** Soil chemical characterization at 0-20 cm.

Suelo	MO	IMO	Pe	pH	CE
	%		mg kg <sup>-1</sup>	1:2,5	dS m <sup>-1</sup>
Arenoso	1,40	12,5	29,2	7,1	0,70
Franco arenoso	2,40	5,5	26,0	6,6	0,70

MO, materia orgánica (%); IMO, índice de materia orgánica (%); Pe, fósforo extractable (mg kg<sup>-1</sup>); pH, potencial Hidrógeno; CE, conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>).

**Tabla 3:** Caracterización edáfica del suelo (0-20 cm) de los sitios seleccionados al trasplante de la lechuga.

**Table 3:** Edaphic characterization of the soil (0-20 cm) at lettuce seedlings transplanting.

Textura	SB	CIC	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
	%		meq100 g <sup>-1</sup>			
Arenoso	94,7	5,7	3,4	1,1	0,1	0,8
Franco arenoso	100*	12,2	9,5	1,1	0,0	3,3

SB, saturación de bases (%); CIC, capacidad de intercambio catiónico (meq100 g<sup>-1</sup>); Ca<sup>2+</sup>, calcio (meq100 g<sup>-1</sup>); Mg<sup>2+</sup> (meq100 g<sup>-1</sup>); Na<sup>+</sup> (meq100 g<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup> (meq100 g<sup>-1</sup>). \*Algunos valores de calcio intercambiable están sobreestimados por la presencia de carbonato de calcio (Pablo Zalba, Departamento agronomía UNS, comunicación personal).

Luego se tamizó el suelo a menos de 4 mm y se rellenaron todas las macetas para dar inicio al estudio. Al finalizar el cuarto ciclo del cultivo de lechuga y una vez cosechadas las plantas se determinaron las fracciones orgánicas del COT en base al fraccionamiento físico por tamaño de partícula, el cual consistió en el tamizado en húmedo del suelo (Cambardella y Elliott, 1992; Galantini, 2005). Se utilizaron 50 g de suelo (previamente seco al aire y tamizado a 2 mm) y se colocaron en recipientes de vidrio de 120 ml con 100 ml de agua destilada, con diez bolitas de vidrio (5 mm de diámetro). Las muestras fueron sometidas a dispersión mecánica a través de un agitador rotatorio durante aproximadamente 16 horas para desintegrar los agregados. El tamizado se realizó con un par de tamices de 53 y 105 µm de abertura de malla, hasta que el agua que sale por el tamiz inferior (53 µm) fuera clara a simple vista. De esta manera se obtuvieron tres fracciones con características diferentes, fracción gruesa (FG, 105-2000 µm) en la que se encuentra el carbono orgánico particulado grueso (COPg) y las arenas medias y gruesas; fracción media (FM, 53-105 µm) constituida por el carbono orgánico particulado fino (COPf) y las arenas muy finas y la fracción fina (FF < 53 µm) la cual contiene el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) más limo y arcilla. El material retenido en cada tamiz fue transferido a cápsulas de aluminio, secado a 105°C en estufa durante 24 horas para su posterior pesaje. El contenido de C en la fracción gruesa (COPg) representa los residuos semitransformados más recientes, en la fracción media (COPf) son los residuos más transformados por la actividad biológica, y los que llevan más tiempo en el suelo. Mientras que el COM, es la fracción más

estable y posee mayor tiempo en el suelo. Las fracciones se determinaron utilizando la misma metodología que el COT:

$$\text{COPg (\%)} = \text{C fracción gruesa (\%)} * \text{fracción gruesa (\%)} / 100,$$

$$\text{COPf (\%)} = \text{C fracción fina (\%)} * \text{fracción fina (\%)} / 100,$$

$$\text{COM (\%)} = \text{COT (\%)} - (\text{COPg (\%)} + \text{COPf (\%)}).$$

Luego las muestras se homogeneizaron y se determinó el carbono en el suelo entero y en las diferentes fracciones por combustión seca usando un analizador automático (LECO, St. Joseph, MI).

### Agua

Se prepararon dos calidades de agua con CE de 1,0 y 2,0 dS m<sup>-1</sup>, a partir de agua proveniente de Chacharramendi, La Pampa. El agua se diluyó con agua destilada y se llevó a las concentraciones antes mencionadas mediante un conductímetro de mano (Water quality meter- Sper Cientific).

Para su caracterización se realizó un análisis químico (Tabla 4). Según las normas de Riverside, United States Salinity Laboratory Staff (USSLS, 1954) el agua es baja en sales (C1) y en cuanto al sodio se clasifica baja en sodio (S1).

**Tabla 4:** Composición química del agua utilizada para el riego del ensayo.

**Table 4:** Chemical composition of water used for irrigation of the experiment.

	CE	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Alc CaCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	RAS	
pH											
	dS m <sup>-1</sup>				mg L <sup>-1</sup>						
	7,5	2,00	0	174,4	382,5	53,3	24,8	302,1	6,7	143,0	8,5

Ca<sup>2+</sup>, calcio (mg L<sup>-1</sup>); Mg<sup>2+</sup>, magnesio (mg L<sup>-1</sup>); Na<sup>+</sup>, sodio (mg L<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup>, potasio. CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, carbonato; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, bicarbonato (mg L<sup>-1</sup>); Cl<sup>-</sup>, cloruro (mg L<sup>-1</sup>); Alc CaCO<sub>3</sub><sup>=</sup>, alcalinidad carbonato de calcio; pH, potencial Hidrógeno; CE, conductividad eléctrica; RAS: Relación de absorción de sodio.

### Dosis de abono orgánico

Las dosis de abono usadas están dentro de las utilizadas por algunos productores de la región. Para el cálculo de la dosis por maceta se estimó la proporción que representa cada una de una hectárea (densidad aparente 1,2 Mg m<sup>-3</sup> y profundidad 0,1 m). En base a la cantidad de abono y su contenido de nitrógeno se calculó el aporte de nitrógeno del abono orgánico. Posteriormente se completó hasta llegar a 100 kg N ha<sup>-1</sup> con fertilizante de origen sintético (urea) como se ve en la Tabla 5. Se analizaron las características químicas del abono orgánico utilizado (pH 8,6; CE 4,46 mS cm<sup>-1</sup>; CO 176,8 g kg<sup>-1</sup>; Nt 15,79 g kg<sup>-1</sup>; la relación C:N 11,2 y el % MO 31,89).

**Tabla 5:** Tratamientos de fertilización con nitrógeno (N) en tres combinaciones de las fuentes abono orgánico y urea.  
**Table 5:** Nitrogen (N) fertilization treatments in three combinations of organic fertilizer and urea sources.

	Tratamiento		
	C0	C2	C4
	kg ha <sup>-1</sup>		
Residuo biotransformado	0	2000	4000
Abono orgánico	0	30	60
Urea	100	70	30
N total	100	100	100

#### Productividad del cultivo

Se analizaron diversas variables relacionadas a la productividad del cultivo de lechuga, entre ellas se cuantificó: la materia seca de raíces ( $MS_R$ ), la materia seca aérea ( $MS_A$ ), la materia seca total ( $MS_T$ ), y se calculó la relación  $MS_A/MS_R$ . Además, se analizó la eficiencia de uso del agua (EUA, kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), la cual se puede definir como la producción de un cultivo por unidad de agua utilizada y la tasa de crecimiento (TC kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), con las siguientes ecuaciones:

$$EUA \text{ (kg MS ha}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{)} = MST * A^{-1}$$

donde:  $MS_T$  producción de materia seca total a cosecha en crecimiento vegetativo del cultivo (hojas y raíces) (kg ha<sup>-1</sup>); A: agua aplicada con el riego durante el ciclo del cultivo (mm).

$$TC \text{ (kg MS ha}^{-1}\text{día}^{-1}\text{)} = MST * D^{-1}$$

donde:  $MS_T$  producción de materia seca total a cosecha (hojas y raíces) (kg ha<sup>-1</sup>); D: período del ciclo del cultivo (días).

Cálculos indicadores al finalizar el cuarto ciclo de lechuga y posterior a la cosecha  
 Se calcularon los siguientes índices:

COP/COM y COPg+f/COT como índices de Labilidad (IL), que representan la relación del C lábil y el C no lábil o total (Galantini et al., 2002).

COPg/COPf indicaría cuánto del carbono orgánico particulado está transformado  
 índice de Carbono Orgánico (ICO) el cual representa la relación entre el contenido de COM y el limo+arcilla (COM/(L+a)).

Además, se utilizó como un indicador del grado de transformación, la relación entre fracciones orgánicas teniendo en cuenta que la transformación física de los materiales orgánicos del suelo sigue la secuencia COPg:COPf:COM (Galantini et al., 2016). Esta relación daría una idea de la velocidad en la que se transforman los materiales orgánicos del suelo, poniendo en evidencia cambios en la proporción relativa de las diferentes fracciones.

#### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2020). Los datos se presentan como medias en cada uno de los suelos. Las diferencias en los resultados afectados por las diferentes calidades de agua, así como la interacción entre ellos, se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias de tratamientos fue analizada por el Test de Fisher con un nivel de significancia del  $\alpha \leq 5\%$ .

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se encontró interacción significativa entre los suelos, motivo por el cual fueron analizados por separado ( $p < 0,05$ ), para todas las variables estudiadas.

**Productividad del cultivo**

Suelo arenoso: el uso de agua con alta salinidad originó una disminución significativa en la  $MS_T$ , la  $MS_A$  y la  $MS_R$  en todos los tratamientos analizados. Por otro lado, la aplicación de abono orgánico mediante el tratamiento C4, produjo un incremento significativo en la  $MS_T$ ,  $MS_A$  y la  $MS_R$  con valores máximos de 1504 kg ha<sup>-1</sup> de  $MS_T$ ; 823 kg ha<sup>-1</sup> de  $MS_A$  y 681 kg ha<sup>-1</sup> de  $MS_R$  cuando se usó agua con CE de 1,0 dS m<sup>-1</sup>, con una disminución de 18% en la  $MS_T$  del 6% en la  $MS_A$  y del 32% en la  $MS_R$  con el uso de agua de 2,0 dS m<sup>-1</sup> (Tabla 6). En cuanto a la relación  $MS_A/MS_R$ , los valores registrados no permitieron encontrar diferencias significativas debido al efecto del agua salina ni al efecto del abono (Tabla 6). Otros estudios mostraron que los biofertilizantes-bioestimulantes aplicados en lechuga pueden ser una mejor alternativa que se adapta bien para reducir el uso de fertilizantes químicos con incrementos del rendimiento de entre 55 y 68% (Tahiri et al., 2021).

**Tabla 6:** Productividad del cultivo en un suelo arenoso y franco arenoso al finalizar el cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

**Table 6:** Crop productivity in sandy and sandy loam soils at the end of the fourth lettuce cycle with different organic fertilizer inputs and water quality.

	C0			C2			C4		
ARENOSO	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA
$MS_T$ (kg ha <sup>-1</sup> )	1331 a	798 A	***	1434 a	973 A	***	1504 b	1235 B	**
$MS_A$ (kg ha <sup>-1</sup> )	749 a	540 A	**	766 ab	623 A	**	823 b	773 B	*
$MS_R$ (kg ha <sup>-1</sup> )	582 a	258 A	**	667 a	350 A	***	681 b	462 B	*
$MS_A/MS_R$	1,31 a	2,72 A	ns	1,16 a	1,91 A	ns	1,23 a	1,67 A	ns
FRANCO ARENOSO									
$MS_T$ (kg ha <sup>-1</sup> )	991 a	526 A	***	1385 b	635 B	***	1134 b	805 C	ns
$MS_A$ (kg ha <sup>-1</sup> )	609 a	248 A	***	796 b	465 B	***	765 b	556 C	ns
$MS_R$ (kg ha <sup>-1</sup> )	382 a	278 A	***	589 a	170 AB	***	370 a	250 B	ns
$MS_A/MS_R$	1,99 a	0,83 A	***	1,33 a	2,80 B	***	2,68 a	2,33 B	ns

$MS_T$ , materia seca total;  $MS_A$ , materia seca aérea;  $MS_R$ , materia seca de raíz. Calidad de agua con conductividad eléctrica CE1.0 y CE2.0 de 1,0 dS m<sup>-1</sup> y 2,0 dS m<sup>-1</sup> respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de Urea:Abono orgánico C0 (0,14:0,00), C2 (0,10:1,25) y C4 (0,05:2,50). EA, Efecto del agua; para cada nivel de abono orgánico diferencias estadísticas al 1% (\*\*), 5% (\*) o no significativas (ns). Diferencias por efecto del abono orgánico se presentan por letras minúsculas diferentes en 1.0 y letras mayúsculas en 2.0.

El efecto de la calidad del agua se analizó considerando el rendimiento relativo (RR) en las macetas que tienen agua con alta salinidad respecto a las que tienen agua con baja salinidad mediante la ecuación:

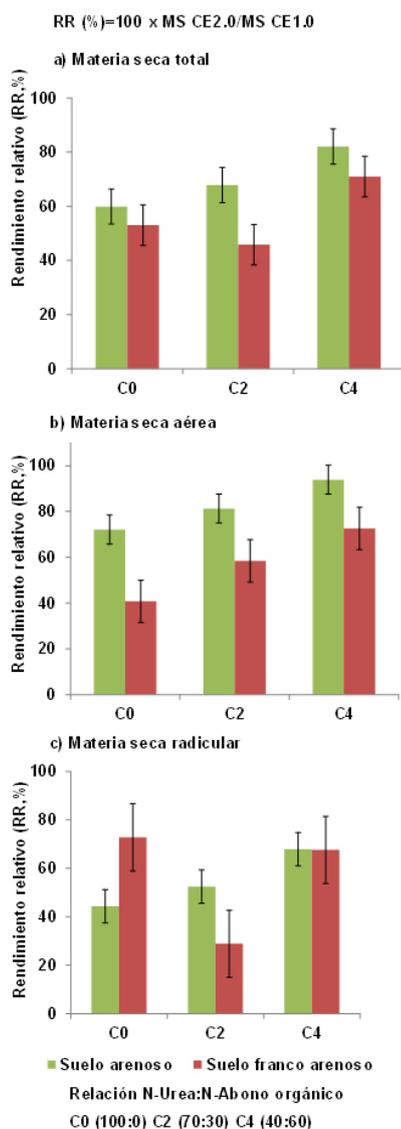
$$RR(\%) = 100 \times \frac{MS_{CE2.0}}{MS_{CE1.0}}$$

dónde: RR, rendimiento relativo (%);  $MS_{CE2.0}$ , materia seca en kg ha<sup>-1</sup> regados con agua de 2,0 dS m<sup>-1</sup>;  $MS_{CE1.0}$ , materia seca en kg ha<sup>-1</sup> regados con agua de 1,0 dS m<sup>-1</sup>.

Es decir que 100-RR % representa la pérdida de rendimiento por efecto del agua salina.

En el suelo arenoso se observó un comportamiento similar en las tres variables analizadas ( $MS_T$ ,  $MS_A$  y  $MS_R$ ) con un aumento del rendimiento relativo en el orden de menor a mayor: C0, C2 y C4, el efecto de la calidad del agua disminuye el rendimiento con agua con alta salinidad respecto al rendimiento cuando se utilizó agua de baja salinidad (Figura 1). Similar a lo observado con humus de lombriz (Mantuano Morales

y Zambrano Gavilanes, 2023) y a la aplicación de vermicompost (Chatterjee et al., 2021). Por otra parte, un estudio con cuatro dosis de vermicompost en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) con 0, 4000, 8000 y 12000 kg ha<sup>-1</sup> demostró que las dosis crecientes de aplicación de vermicompost multiplican el rendimiento del cultivo, peso fresco y diámetro, número de hojas, tamaño y ancho de hojas de la planta de lechuga (Adiloğlu et al., 2018).



**Figura 1:** Rendimiento relativo (RR %) por efecto del agua para cada tratamiento de abono y de suelo.

**Figure 1:** Relative yield of lettuce (RR %) due to irrigation for each manure and soil treatment combination.

En el suelo arenoso se observó un efecto negativo significativo del agua con alta salinidad en la EUA. El uso de abono orgánico incrementó el 11% (CE 1.0) y el 35% (CE 2.0) sobre la EUA en el tratamiento C4 y C0 respectivamente (Tabla 7).

En cuanto a la TC, se observó un comportamiento semejante al registrado en la EUA, con un efecto adverso significativo a causa del uso de agua de alta salinidad y un efecto atenuante con las dosis más altas de abono orgánico, comparado con el testigo sin abono. Los valores de incremento de la TC fueron del 12 y 35% cuando se utilizó agua de 1,0 y 2,0 dS m<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 7).

**Tabla 7:** Eficiencia de uso del agua ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) y tasa de crecimiento ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{día}^{-1}$ ) en un suelo arenoso y franco arenoso luego de cuatro ciclos de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

**Table 7:** Water use efficiency ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) and growth rate ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{day}^{-1}$ ) of lettuce in sandy and sandy loam soils after four lettuce cycles with different organic fertilizer inputs and water quality.

	C0			C2			C4		
	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA
<b>ARENOSO</b>									
EUA( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ )	2,38 a	1,43 A ***		2,56 a	1,74 A **		2,69 b	2,21 B **	
TC( $\text{kg ha}^{-1} \text{día}^{-1}$ )	53,2 a	31,9 A ***		57,4 a	38,9 A ***		60,2 b	49,4 B *	
<b>FRANCO ARENOSO</b>									
EUA( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ )	1,77 a	0,94 A ***		2,47 b	1,14 B ***		2,03 b	1,44 C ns	
TC( $\text{kg ha}^{-1} \text{día}^{-1}$ )	39,6 a	21,0 A ***		55,4 b	25,4 B ***		45,4 b	32,2 C ns	

EUA, eficiencia de uso del agua ( $\text{kg MS}_T \text{ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ); TC, tasa de crecimiento ( $\text{kg MS}_T \text{ ha}^{-1} \text{día}^{-1}$ ). Calidad de agua con conductividad eléctrica CE1.0 y CE2.0 de 1,0  $\text{dS m}^{-1}$  y 2,0  $\text{dS m}^{-1}$  respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de Urea:Abono orgánico C0 (0,14:0,0), C2 (0,10:1,25) y C4 (0,05:2,50). EA, Efecto del agua; para cada nivel de abono orgánico diferencias estadísticas al 1% (\*\*), 5% (\*) o no significativas (ns). Diferencias por efecto del abono orgánico se presentan por letras minúsculas diferentes en CE1.0 y letras mayúsculas en CE2.0.

Suelo franco arenoso: en el suelo franco arenoso al igual que sucedió en el suelo arenoso, el uso de agua con alta salinidad originó una disminución significativa en la  $\text{MS}_T$ , la  $\text{MS}_A$  y la  $\text{MS}_R$  en todos los tratamientos analizados y un efecto significativo en los tratamientos C0 y C2. Por otro lado, la aplicación de abono orgánico mediante el tratamiento C2, produjo un incremento significativo en la  $\text{MS}_T$ ,  $\text{MS}_A$  y la  $\text{MS}_R$  con valores máximos de  $1385 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{MS}_T$ ;  $796 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{MS}_A$  y  $589 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{MS}_R$  cuando se usó agua con CE de 1,0  $\text{dS m}^{-1}$ , con una caída del 54% en la  $\text{MS}_T$ , del 41% en la  $\text{MS}_A$  y del 71% en la  $\text{MS}_R$  con el uso de agua de 2,0  $\text{dS m}^{-1}$ . El uso de abono orgánico evidenció diferencias significativas entre los tratamientos C0 respecto a C2 y C4 cuando se regó con agua de baja salinidad y un efecto positivo frente al uso de agua con alta salinidad con valores de incremento para la  $\text{MS}_T$  del 60, 68 y 82% cuando se fertilizó con los tratamientos C0, C2 y C4, demostrando un efecto atenuado por la incorporación de mayor proporción de abono orgánico (Tabla 6). Un efecto similar fue reportado por Manríquez Sandoval (2012), quien evaluó los efectos producidos por el uso de enmiendas orgánicas (porquinaza y guano) en comparación con fertilizantes convencionales aplicados en el cultivo, los resultados indicaron que con las aplicaciones de enmiendas el rendimiento del grano y producción fueron similares a la de aplicación convencional, pero en suelos salinos se observaron resultados relevantes como respuesta a la aplicación de enmiendas orgánicas ya que ayuda gradualmente a la mejora del suelo, ayudando a corregirlo física, química y biológicamente mitigando la salinidad del mismo que limita su producción. Por otra parte, Vecilla Marmolejo (2020), en su estudio demostró que el uso de enmiendas orgánicas es útil en el manejo de suelos irrigados con aguas salinas, ya que demostraron mayor absorción de nutrientes y que poseen efectos positivos sobre el suelo y por sus características químicas poseen un buen potencial para la remediación de la sodicidad. El uso de agua con alta salinidad tuvo un efecto negativo en la relación  $\text{MS}_A/\text{MS}_R$  entre los tratamientos C0 respecto a C2 y C4 presentando diferencias significativas. Asimismo, se observó un efecto positivo significativo frente al uso de agua con alta salinidad con valores de incremento para la  $\text{MS}_T$  del 47, 54 y 29% cuando se fertilizó con los tratamientos C0, C2 y C4, demostrando un efecto atenuado por la incorporación de mayor proporción de abono orgánico similar comportamiento a lo observado en el suelo de textura arenosa (Tabla 6).

Al comparar el efecto en ambos suelos respecto al rendimiento relativo entre los tratamientos con CE 1,0  $\text{dS m}^{-1}$  con relación a los tratamientos con CE 2,0  $\text{dS m}^{-1}$ , en el suelo franco arenoso se observó un comportamiento diferente entre las variables  $\text{MS}_T$ ,  $\text{MS}_A$  y  $\text{MS}_R$ , ya que el valor máximo obtenido fue del 71% en la  $\text{MS}_T$  y 73% en la  $\text{MS}_A$  en el tratamiento C4 y del 73% en la  $\text{MS}_R$  en el tratamiento C0 (Figura 2). Se encontró mayor susceptibilidad al agua con alta salinidad en el suelo texturalmente fino respecto al suelo de textura arenosa y se comprobó que con la aplicación de mayor contenido de abono orgánico (C4) se mitiga el efecto adverso de la salinidad. Otros estudios mostraron que los bioestimulantes aplicados solos o en combinación podrían ayudar a la lechuga a tolerar el estrés salino y mejorar su producción en áreas degradadas (Ouhaddou et al., 2022). La enmienda de biocarbón co-compostado de tamaño de partícula pequeña tiene el potencial de atenuar la salinidad y el estrés por sequía en la lechuga y promover el ciclo del P en el suelo (Malik et al., 2022). Otros estudios afirman que se puede prescindir de los fertilizantes minerales y sustituirlos por vermicompost o biocarbón en el programa de fertilización para lograr una mayor productividad

de la lechuga (Abd-Elrahman et al., 2022). Además, hay evidencia de que el compostaje demostró ser un tratamiento adecuado, el cual se vio reflejado en la mayor producción de materia seca (Moisés et al., 2022).

En el suelo arenoso el agua con alta salinidad presentó cambios negativos en las variables analizadas, independientemente del tratamiento aplicado. Teniendo en cuenta que el efecto del abono orgánico consistió en que la dosis de N es equivalente, con la diferencia en el origen de la fuente orgánica e inorgánica, en el suelo franco arenoso la aplicación de mayor proporción de abono orgánico (C4) contribuyó a atenuar el efecto del agua salina en las variables  $MS_T$ ,  $MS_A$  y  $MS_R$ . En el suelo franco arenoso, al igual que en el suelo arenoso, la EUA y la TC mostraron diferencias semejantes entre tratamientos. En este suelo se encontró un efecto altamente significativo y negativo del agua con alta salinidad en las variables EUA y TC en los tratamientos C0 y C2 (Tabla 7). Sin embargo, cuando se aplicó el tratamiento C4, el efecto del agua salina no fue significativo respecto al tratamiento testigo. Otros estudios, reportaron que la mineralización de estiércoles de mayor contenido inicial de N inorgánico, no son afectados por el tipo de suelo, mientras que en el estiércol que presenta menor contenido de N inorgánico, la mineralización se ve favorecida por suelos con mayor contenido de arena (Mubarak et al., 2010).

Al igual que lo sucedido en el suelo arenoso, en este suelo de textura fina se encontró un efecto favorable por el uso de abono orgánico con un incremento del 28% en el tratamiento C2 y 13% en C4 de la EUA respecto al tratamiento C0 cuando se regó con agua de baja salinidad y valores del 17% en C2 y 35% en C4 respecto a C0 cuando se regó con agua con alta salinidad con diferencias significativas entre las tres combinaciones de fertilización (Tabla 7). Otros estudios mostraron que los tratamientos con vermicompost mejoraron los macro y micro nutrientes de la planta de lechuga en condiciones de estrés salino en condiciones de invernadero (Demir et al., 2020).

En cuanto a la TC, se observó un comportamiento similar a la EUA, con un efecto adverso significativo a causa del uso de agua de baja salinidad y un efecto atenuante por la incorporación de abono orgánico. Los valores de incremento de la TC fueron del 28% en C2 y 13% en C4 cuando se utilizó agua de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  respecto al tratamiento C0 y de 17% en C2 y 35% en C4 cuando se regó con agua  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  respecto a C0 (Tabla 7). En ambos suelos texturalmente diferentes, tanto la EUA como la TC impactaron sobre la productividad del cultivo. Se observó un efecto negativo del agua salina sobre la EUA que implicó menor producción de materia seca por unidad de agua aplicada, mientras que la reducción en la TC implicó una menor producción de materia seca por día. Otros estudios mostraron que hubo un aumento en la productividad de lechuga en respuesta a la fertilización orgánica, así como los efectos residuales de los abonos animales hasta la tercera cosecha. La mineralización del estiércol de ganado fue más lenta que la del estiércol de pollo, lo que tiene una influencia directa en la liberación de nutrientes de los fertilizantes orgánicos a las plantas, especialmente de cultivos con un ciclo más corto, como la lechuga (Peixoto Filho et al., 2013). Los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí en el primer ciclo, pero podrían observarse esos efectos en ciclos posteriores, una vez que las enmiendas orgánicas aplicadas, están convenientemente mineralizadas y con nutrientes liberados para provecho del cultivo (Britos et al., 2018). Otros estudios reportaron que el compost mejoró significativamente los parámetros de crecimiento y rendimiento de la lechuga, así como mayor capacidad de almacenamiento, como lo indica un porcentaje de pérdida de peso reducido durante el período de almacenamiento (Mostafa et al., 2023).

### Fracciones orgánicas

El efecto acumulado después de cuatro ciclos consecutivos del cultivo de lechuga (152 días suma de los cuatro ciclos) reveló una interacción significativa entre los suelos (arenoso y franco arenoso) y los tratamientos (calidad de agua y dosis de abonos) con relación a diversas propiedades evaluadas ( $p < 0,05$ ). Se encontró que los tratamientos tuvieron efectos diferentes en la mayoría de las propiedades entre los suelos.

Suelo arenoso: en el suelo arenoso el COT se vio modificado significativamente por la dosis de abono orgánico aplicado. Se observó un aumento significativo del 12% en el contenido de COT con diferencias significativas entre los tratamientos C0 y C4 cuando se regó con agua de CE de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  y entre los tratamientos C0 y C2 cuando se utilizó agua de CE  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  con un aumento del 8% para el tratamiento C2 respecto a C0.

El comportamiento de las fracciones orgánicas mostró que el efecto del agregado de abono orgánico se concentró en el COM. Teniendo presente que el nivel de COT es el resultado del balance entre el carbono aportado por el abono, el carbono aportado por la biomasa (principalmente raíces de la lechuga) y las pér-

didas durante la respiración, se observa un balance positivo con la dosis C2 y casi neutro con la dosis C4. En este contexto, el agua con alta salinidad produjo un efecto significativo solamente en el nivel de COP en los tratamientos C2 y C4. Si bien el efecto no llega a modificar las diferencias entre las dosis de abono, estaría poniendo en evidencia una acumulación del COP cuando aumenta la salinidad, posiblemente como consecuencia de la reducción de la velocidad de descomposición (Tabla 8).

**Tabla 8:** Fracciones orgánicas en un suelo arenoso y franco arenoso al cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

**Table 8:** Organic fractions in a sandy soil and a sandy loam soil in the fourth cycle of lettuce with different contributions of organic fertilizer inputs and water quality.

	C0			C2			C4		
	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA
<b>ARENOSO</b>									
COT (%)	0,57 a	0,57 A	ns	0,61 Ab	0,62 B	ns	0,65 b	0,60 AB	ns
COPg (%)	0,17 a	0,18 A	ns	0,14 A	0,19 A	*	0,16 a	0,20 A	**
COPf (%)	0,06 a	0,06 A	ns	0,06 A	0,06 A	ns	0,06 a	0,06 A	ns
COM (%)	0,34 a	0,33 A	ns	0,41 Ab	0,37 B	ns	0,43 b	0,34 AB	ns
<b>FRANCO ARENOSO</b>									
COT (%)	1,26 a	1,34 B	ns	1,30 A	1,16 A	**	1,26 a	1,36 B	*
COPg (%)	0,19 a	0,26 B	***	0,24 B	0,17 A	*	0,24 b	0,28 B	ns
COPf (%)	0,15 a	0,14 A	ns	0,14 A	0,19 B	ns	0,15 a	0,15 A	ns
COM (%)	0,92 a	0,94 B	ns	0,93 A	0,80 A	**	0,87 a	0,93 B	ns

COT, carbono orgánico total; COPg y COPf carbono orgánico particulado grueso y fino; COM, carbono orgánico asociado a la fracción mineral. Calidad de agua con conductividad eléctrica CE1.0 y CE2.0 de 1,0 dS m<sup>-1</sup> y 2,0 dS m<sup>-1</sup> respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de Urea:Abono orgánico C0 (0,14:0,0), C2 (0,10:1,25) y C4 (0,05:2,50). EA, Efecto del agua; para cada nivel de abono orgánico diferencias estadísticas al 1% (\*\*), 5% (\*) o no significativas (ns). Diferencias por efecto del abono orgánico se presentan por letras minúsculas diferentes en CE1.0 y letras mayúsculas en CE2.0.

En términos de las relaciones entre las fracciones COPg, COPf y COM, no se observaron efectos significativos en el índice ICO y cambios variables en COPf/COPg, COP/COT y COP/COM/FF. Básicamente, sin cambios en los índices cuando se aplica C0 e incrementos en el índice de diferente magnitud cuando se agrega abono orgánico (C2 y C4) (Tabla 9). Esto se correspondería con una descomposición más lenta del COPg en los tratamientos que aplican agua con alta salinidad en comparación con los tratamientos CE1.0, posiblemente por un efecto adverso de la salinidad sobre la actividad biológica del suelo y las transformaciones de los materiales orgánicos.

Asimismo, en términos de las relaciones entre las fracciones COPg, COPf y COM, se observó una descomposición más rápida del COPg en los tratamientos C2 en comparación con los tratamientos C0 en los suelos de textura gruesa, posiblemente debido al mayor aporte de carbono proveniente del abono orgánico, ya que los tratamientos C0 solo aportaron nitrógeno.

**Tabla 9:** Indicadores de las fracciones orgánicas en un suelo arenoso y franco arenoso al cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

**Table 9:** Indicators of organic fractions in a sandy soil in the fourth cycle of lettuce with different organic fertilizer inputs and irrigation water quality.

ARENOSO	C0			C2			C4					
	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA	CE1.0	CE2.0	EA			
COPg/COPf	3,00	a	2,83	A ns	2,32	a	3,16	A *	2,68	a	3,32	A ns
COP/COT	0,40	a	0,42	A ns	0,33	a	0,39	A ns	0,34	a	0,42	A **
COP/COM/FF	0,23	a	0,25	A ns	0,25	a	0,23	A ns	0,21	a	0,23	A **
ICO	0,11	a	0,11	A ns	0,13	a	0,12	A ns	0,13	a	0,11	A ns
COPg:COPf:COM	29:10:59		31:10:57		22:9:67		30:09:59		24:9:66		33:10:56	
FRANCO ARENOSO												
COPg/COPf	1,31	a	1,98	B **	1,84	a	1,00	A ns	1,68	a	1,98	B ns
COP/COT	0,27	a	0,30	A ns	0,29	ab	0,31	A ns	0,31	b	0,32	A ns
COP/COM/FF	0,18	a	0,23	A ns	0,21	a	0,22	A ns	0,25	a	0,21	A ns
ICO	0,08	a	0,08	A ns	0,08	a	0,07	A *	0,08	a	0,08	A ns
COPg:COPf:COM	15:11:73		19:10:70		18:10:71		14:16:68		19:11:69		20:11:68	

COT, carbono orgánico total; COPg y COPf carbono orgánico particulado grueso y fino; COM, carbono orgánico asociado a la fracción mineral. FF, fracción fina. Calidad de agua con conductividad eléctrica CE1.0 y CE2.0 de 1,0 dS m<sup>-1</sup> y 2,0 dS m<sup>-1</sup> respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de Urea:Abono orgánico C0 (0,14:0,0), C2 (0,10:1,25) y C4 (0,05:2,50). EA, Efecto del agua; para cada nivel de abono orgánico diferencias estadísticas al 1% (\*\*), 5% (\*) o no significativas (ns). Diferencias por efecto del abono orgánico se presentan por letras minúsculas diferentes en CE1.0 y letras mayúsculas en CE2.0.

Suelo franco arenoso: el COT se vio significativamente modificado tanto por el aporte de abono orgánico como por el contenido salino del agua. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos regados con agua de CE 1,0 y 2,0 dS m<sup>-1</sup>.

El efecto de la dosis de abono fue variable, negativo en C2 y positivo en C4. Posiblemente, ante condiciones de fertilidad mejores en el suelo arenoso, la cantidad de abono orgánico para un balance positivo deba ser más elevada. Además, se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos C2 y C4 con un incremento a favor del tratamiento C4 del 14% cuando se utilizó agua de CE 2,0 dS m<sup>-1</sup> (Tabla 8). Esta variabilidad en el COT también se reflejó en las fracciones orgánicas, donde el COP aumentó significativamente por el uso de agua con alta salinidad en C0, efecto que se va perdiendo con el incremento de dosis de abono orgánico. En las otras fracciones orgánicas se observa algo similar, poniendo en evidencia interacciones más complejas en el suelo de textura fina en comparación al suelo arenoso, en la medida que se modifican la calidad del agua y la proporción de abono orgánico. En este estudio, se encontraron diferencias significativas en las relaciones entre las fracciones orgánicas según la textura del suelo. Otros estudios mostraron que, en suelos del Sudoeste bonaerense, la aplicación de residuos agroindustriales en elevadas dosis cambió las fracciones orgánicas lábiles (Duval et al., 2022).

Respecto a la relación COPg+f/COT fue mayor en el suelo arenoso en comparación con el suelo franco arenoso. Similar a los resultados obtenidos por Duval et al. (2013) la relación COPg+f/COT fue mayor en suelos arenosos que en los suelos de textura fina. A medida que aumentó el contenido de arena el COT disminuyó, y los materiales orgánicos particulados se hicieron más abundantes que en suelos de textura fina. El suelo franco arenoso presentó mayor contenido de a+L respecto al suelo de textura gruesa. Además, presentó mayor contenido de COT, lo cual se reflejó en una menor relación COP/COT. Se observó que la relación entre COP/COT y el índice de labilidad (IL) respondió de la misma manera en ambos suelos con relación al efecto del agua (Tabla 9).

En el suelo franco arenoso, se detectaron cambios en las fracciones orgánicas y diferentes velocidades de transformación. Además, los tratamientos que utilizaron agua con alta salinidad mostraron acumulación de COPg, un aumento en la relación COPg/COPf y cambios en las tres fracciones. Algo semejante encontraron Ruihuan et al. (2021), en su estudio con uso de paja de algodón, quienes comprobaron que la textura del suelo modificó el efecto negativo de la salinidad sobre la mineralización de C mediante la regulación de la composición de la comunidad microbiana del suelo. Otros estudios mostraron que la aplicación de residuos agroindustriales en suelo es una estrategia de reposición de nutrientes (Duval et al., 2021) y aporte de materia orgánica (Ghosh et al., 2010). Asimismo, la identificación de fracciones orgánicas lábiles sirve como indicador, o incluso como herramienta de verificación, para evaluar los cambios en el COS (Si et al., 2018).

El efecto de la salinidad en la relación COPg/COPf implicó un aumento de esta en el tratamiento C0, una disminución en C2 y un aumento en C4, ya que la salinidad disminuye la velocidad de descomposición en C0. Cuando se aporta mayor cantidad de abono orgánico el balance C:N del tratamiento C2 disminuye. Sin embargo, el tratamiento C4, posiblemente presentó un exceso de C respecto de N, y tuvo un índice alto. Esos resultados estarían indicando un efecto combinado de la salinidad y el N disponible sobre la dinámica de la transformación de CO incorporado al suelo. Otros estudios mostraron que todavía no se conoce con exactitud la capacidad de los materiales orgánicos para liberar N para la producción de cultivos (Martínez et al., 2018).

## CONCLUSIONES

La textura del suelo condiciona la respuesta a la aplicación de agua de diferente calidad y de abono orgánico, siendo el suelo franco arenoso el más sensible a estos factores. La MS<sub>T</sub> tuvo un efecto negativo por el uso de agua con alta salinidad en el suelo arenoso más acentuado que el suelo franco arenoso. La aplicación de abono orgánico ayudó a atenuar el efecto del agua salina en la mayoría de las variables analizadas.

Los cambios en el COT producidos por los tratamientos fueron diferentes en ambos suelos. El COP en el suelo de textura gruesa fue mayor cuando se regó con agua con alta salinidad, como consecuencia de la reducción de la velocidad de descomposición. En el suelo de textura fina el efecto se fue perdiendo con el incremento de dosis de abono orgánico. Los IL fueron más sensibles en el suelo arenoso para evidenciar cambios asociados al manejo (agua de riego y abono). El ICO fue sensible para evidenciar diferencias en el suelo franco arenoso. El abono orgánico reduce el efecto salino en el suelo franco arenoso.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. M. Duval, por su colaboración en el fraccionamiento físico de las muestras de suelo y al Laboratorio de Suelo y Agua de la EEA INTA Anguil.

## REFERENCIAS

- Abd-Elrahman, S. H., Saady, H. S., El-Fattah, D. A. A. y Hashem, F. A. E. (2022). Effect of irrigation water and organic fertilizer on reducing nitrate accumulation and boosting lettuce productivity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2144-2155. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00799-8>
- Acosta García, J. C. y Salvadori Verón, J. A. (2017). *Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de la Pampa]. Repositorio digital de acceso abierto/UNLPam. [https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/1376/a\\_acoeva602.pdf?sequence=1](https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/1376/a_acoeva602.pdf?sequence=1)
- Adiloğlu, S., Eryılmaz Açıkgoz, F., Solmaz, Y., Çaktü, E. y Adiloğlu, A. (2018). Effect of vermicompost on the growth and yield of lettuce plant (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). *International Journal of Plant & Soil Science*, 21, 1-5. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2018/37574>
- Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Oguejiofor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L. y de Goede, R. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, (99), 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>
- Bongiovanni Ferreyra, M. G., Orden, L. y Pérez Pizarro, J. (2015, 4 de febrero). Informe Enmiendas orgánicas en la producción hortícola bajo cubierta. *Sitio web INTA*. <https://web.inta.gob.ar/documentos/enmiendas-organicas-en-la-produccion-horticola-bajo-cubierta>
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-45.
- Britos, R., Valiente, H., Gómez, B., Vega, M., Ríos, D. y Estigarribia, A. (2018). Efecto de diferentes dosis de dos enmiendas orgánicas en los componentes de rendimiento en lechuga (*Lactuca sativa*). *Revista de Investigación Científica Tecnológica*, 2, 2. Universidad Privada María Serrana (Asunción).
- Cambardella, C. A. y Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, (56), 777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- Castellón Gómez, J. J., Bernal Muñoz, R. y Hernández Rodríguez, M. L. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- Chatterjee, D., Dutta, S. K., Kikon, Z. J., Kuotsu, R., Sarkar, D., Satapathy, B. S. y Deka, B. C. (2021). Recycling of agricultural wastes to vermicomposts: Characterization and application for clean and quality production of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Cleaner Production*, 315, 128115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128115>
- Díaz, C. C., Apezteguía, H. P. y Maguire, V. G. (19 al 22 de septiembre de 2023). *Pérdidas de carbono orgánico en suelos cultivados con distintos niveles de salinidad en comparación a situaciones prístinas*. [Trabajo expandido]. En: Actas del VII Congreso de la red argentina de salinidad (pp. 37). II Simposio Latinoamericano de salinidad. Santa Rosa La Pampa.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. InfoStat (versión 2020) [Software]. Córdoba, Argentina: Centro de Transferencia InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- Demir, Z., y Kiran, S. (2020). Effect of vermicompost on macro and micro nutrients of lettuce (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) under salt stress conditions. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 33-43. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.579695>
- Duval, M. E., Galatini, J. A., Iglesias, J. O., Canelo, S., Martínez, J. M. y Wall, L. G. (2013). Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil & Tillage Research*, 131, 11-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.03.001>
- Duval, M. E., Martínez, J. M. y Galatini, J. A. (2020). Assessing soil quality indices based on soil organic carbon fractions in different long-term wheat systems under semiarid conditions. *Soil Use and Management*, 36(1), 71-82. <https://doi.org/10.1111/sum.12532>
- Duval, M. E., Moisés, J., García, R. J., Martínez, J. M. y Galatini, J. A. (2021). Cambios en las formas de fósforo en suelos enmendados con residuos agroindustriales. XI Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo. 1 a 3 de diciembre Bahía Blanca- Argentina.
- Duval, M. E., Moises, J., Martínez, J. M., García, R. J. y Galatini, J. A. (2022). Dinámica de las fracciones orgánicas en suelos enmendados con residuos agroindustriales. XXVIII Congreso Argentino Ciencia del Suelo- Buenos Aires.
- Galatini, J. A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En L. Marban y S. Ratto (Eds.), *Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios*, (pp. 103-114). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. <https://www.researchgate.net/publication/259230427>
- Galatini, J. A., Rosell, R. A., Brunetti, G. y Senesi, N. (2002). Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo*, 20(1), 17-26. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_20n1/galatini\\_17-26.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_20n1/galatini_17-26.pdf)
- Galatini, J. A., Senesi, N., Brunetti, G. y Rosell, R. (2004). Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma*, 123, 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.02.008>
- Galatini, J. A., Duval, M. E., Martínez, J. M., Mora, V., Baigorri, R. y García Mina, J. M. (2016). Quality and Quantity of Organic Fractions as Affected by Soil Depth in an Argiudoll under Till and No-till Systems. *International Journal of Plant and Soil Science*, 10(5), 1-12. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/25205>

- Ghosh, S., Wilson, B. R., Mandal, B., Ghoshal, S. K. y Grown, I. (2010). Changes in soil organic carbon pool in three long-term fertility experiments with different cropping systems and inorganic and organic soil amendments in the eastern cereal belt of India. *Australian Journal of Soil Research*, 48(5), 413-420. <http://dx.doi.org/10.1071/SR09089>
- Hernández, T., Chocano, C., Coll, M. D. y García, C. (2018). Composts as alternative to inorganic fertilization for cereal crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 35340-35352. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3898-6>
- Icolí, G. A., Pieroni, O. I., Gómez, M. A., Alvarez, M. B. y Galantini, J. A. (2017). Rapid characterisation of agro-industrial effluents for environmental fate by UV-visible and infrared spectroscopy from fractions obtained by centrifugation. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 97, 1-12. <https://doi.org/10.1080/03067319.2017.1354993>
- Malik, A., Gul, S., Buriro, A. H., Kakar, H. y Ziad, T. (2022). Particle Size of Biochar as Co-composted Fertilizer: Influence on Growth Performance of Lettuce and Concentration of Bioavailable Soil Nutrients under Salinity Stress Conditions. Preprints, 2022010337. <https://doi.org/10.20944/preprints202201.0337.v1>
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E., Landriscini, M. R., García, R. J. y López, F. M. (2018). Nitrogen mineralization indicators under semi-arid and semi-humid conditions: influence on wheat yield and nitrogen uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(15), 1907-1921. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1485931>
- Martínez, J. M., Duval, M. E., Moisés, J., García, R. J., Ruiz, M. y Galantini, J. A. (13-16 de octubre de 2020). *Dinámica de fracciones orgánicas de nitrógeno con el agregado de residuos orgánicos biotransformados en suelos contrastantes*. [Trabajo expandido]. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables. Corrientes, Provincia de Corrientes, Argentina. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/189833>
- Manríquez Sandoval, R. L. (2012). *Uso de enmiendas orgánicas "bioestabilizado de cerdo y guano broiler" como alternativa nutricional al uso de fertilizantes convencionales en el cultivo del arroz (Oryza sativa L.)* [Tesis, Universidad de Talca Chile, Escuela de Agronomía]. Red de repositorios Latinoamericanos. <http://dspace.uta.cl/handle/1950/9554>
- Mantuano Morales, M. A. y Zambrano Gavilanes, F. (2023). Efecto de la aplicación de vermicompost en el comportamiento agronómico de diversos cultivos. *Revista Biotempo*, 20(2), 285-296. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v20i2.5742>
- Moisés, J., Martínez, J. M., Duval, M. E. y Galantini, J. A. (2022). Caracterización química y espectrométrica de residuos agroindustriales para su potencial uso como enmiendas orgánicas. *Ciencia del Suelo*, 40(2), 227-236. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/205374>
- Mostafa, N. A., El-Sherpiny, M. A., Elmakarm, A. y Amira, A. (2023). Impact of organic fertilization and some beneficial elements on the performance and storability of Salt-Stressed Crisphead Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Plant Production*, 14(12), 403-409. <https://doi.org/10.21608/jpp.2023.253247.1290>
- Mubarak, A. R., Gali, E. A., Mohamed, A. G., Steffens, D. y Awadelkarim, A. H. (2010). Nitrogen mineralization from five manures as influenced by chemical composition and soil type. *Communications in soil science and plant analysis*, 41(16), 1903-1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.495802>
- Ouhaddou, R., Ben-Laouane, R., Lahlali, R., Anli, M., Ikan, C., Boutasknit, A., Slimani, A., Oufdou, K., Baslam, M., Ait Barka, E., et al. (2022). Application of Indigenous Rhizospheric Microorganisms and Local Compost as Enhancers of Lettuce Growth, Development, and Salt Stress Tolerance. *Microorganisms*, 10, 1625. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081625>
- Peixoto Filho, J. U., Freire, M. B. D. S., Freire, F. J., Miranda, M. F., Pessoa, L. G. y Kamimura, K. M. (2013). Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agrambi*, 17(4). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400010>
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E. y Peinemann, N. (2005). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 90(1): 63-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.08.019>
- Quiroga, A., Sa Pereira, E., Álvarez, C., Fernández, R., Galantini, J. y Arroquy, G. (2021). Cambios en propiedades físico-hídrica de suelos pertenecientes a una microcuenca del arroyo sauce corto en la pampa interserrana subhúmeda Argentina. *Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo*, 5(3), 40-54. [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_290421347](https://doi.org/10.37572/EdArt_290421347)
- Reyes Sanchez, L. B., Horn, R. y Costantini, E. A. C. (2022). Sustainable soil management as a key to preserve soil biodiversity and stop its degradation. *International Union of Soil Sciences*, 261-271. <https://www.researchgate.net/publication/361276178>
- Rosane, G. (2014). *Informe: Seguimiento del programa frutihortícola de la provincia de La Pampa, período 2013*. <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2015/06/50103.pdf>
- Ruihuan, E., Yongxiang, Y., Chaorong, G. y Huaiying, Y. (2021). Soil Texture Alters the Impact of Salinity on Carbon Mineralization. *Agronomy*, 11(1), 128. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010128>
- Salazar Moreno, R., Rojano Aguilar, A. y López Cruz, I. L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(2), 177-183. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a12.pdf>
- Saifullah, Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z. y Naidu, R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of The Total Environment*, 625, 320-335. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.257>
- Si, P., Liu, E., He, W., Sun, Z., Dong, W., Yan, C. y Zhang, Y. (2018). Effect of no-tillage with straw mulch and conventional tillage on soil organic carbon pools in Northern China. *Archives in Agronomy and Soil Science*, 64(3), 398-408. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1359410>
- Tahiri, Ai., Raklami, A., Bechtaoui, N., Anli, M., Boutasknit, A., Oufdou, K. y Meddich, A. (2022). Beneficial Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost on Lettuce (*Lactuca sativa*) Growth Under Field Conditions. *Gesunde*

*Pflanzen* 74, 219–235. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00604-z>

United States Salinity Laboratory Staff. (1954). Soil and water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. Ed. L.A. Richards. Agriculture. Handbook 60.

Vecilla Marmolejo, J. P. (2020). *Enmiendas orgánicas como alternativas de manejo en suelos afectados por salinidad en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)* [Tesis, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8485>

Xu, X., Shi, Z., Li, D., Rey, A., Ruan, H., Craine, J. M., Liang, J., Zhou, J. y Luo, Y. (2016). Soil properties control decomposition of soil organic carbon: Results from data assimilation analysis. *Geoderma*, 262, 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.038>

Yu Zhu, L., Xue Lian B., Shi Xin, T., Cheng Jun, G., Hang Tu, X., Hong Bo, H., Carsten, W. M. y Chao, L. (2024). Toward soil carbon storage: The influence of parent material and vegetation on profile-scale microbial community structure and necromass accumulation. *Soil Biology and Biochemistry*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109399>.