

Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias

**Influencia de la calidad de agua y uso de
abonos sobre la productividad de lechuga
en sistemas bajo cubierta**

Ing. Agr. Daiana Huespe

Directores: Dr. Juan Alberto Galantini

Dr. Cristian Álvarez



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Consejo Superior Universitario
BAHIA BLANCA - REPUBLICA ARGENTINA

“2024 - 30º Aniversario de la
Consagración Constitucional de la
Autonomía Universitaria”

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magister en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el 11 de junio de 2021 y el 10 de diciembre de 2025, bajo la dirección del Dr. Juan Alberto Galantini y del Dr. Cristian Álvarez.

Daiana Huespe



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Subsecretaría de Posgrado

La presente tesis ha sido aprobada el 4 de agosto de 2025
mereciendo la calificación 10 (sobresaliente).

Certificamos que en la versión final digital de tesis presentada fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Dr. Cristian Álvarez

Dr. Juan Alberto Galantini

Dedico esta tesis a mi familia,
en especial a mis papás Susana y Ricardo,
a Lucas, Emilia y Milena

AGRADECIMIENTOS

A Juan Alberto Galantini, por su incondicional ayuda, dedicación, claridad en la dirección, enseñanzas y, especialmente, por la confianza depositada en mí para crecer y aprender.

A Cristian Álvarez, por su dirección, enseñanzas, consejos y la confianza brindada a lo largo del proceso.

A Romina Fernández, por su tiempo, aportes y ayuda en la recolección y caracterización de los suelos.

A Lucas Butti, por su ayuda en la recolección de suelo y agua, y en el armado de las macetas, siempre con disposición y compromiso.

A Juan Carlos, Luciano Baraldi y Cecilia Costantino (LABSPA), por sus aportes y valiosa colaboración en los análisis efectuados.

A Juliana Moisés, por facilitarme el residuo biotransformado utilizado en el estudio.

A Matías Duval, por su ayuda en el fraccionamiento del carbono orgánico de los suelos.

Al laboratorio de Suelo y Agua de la EEA INTA Anguil y a Nancy Kloster, por la calibración del conductímetro y por los análisis efectuados.

A Alberto Muguiro, por sus aportes y disposición a colaborar.

Al CERET, por proveer los plantines necesarios para el desarrollo del ensayo.

A Gabriela Minoldo y Julio Iglesias, por su asistencia en las tareas de laboratorio.

A Flavia Epuñan, por facilitarme el acceso a la biblioteca de la EEA INTA Anguil.

A Rosario Olguin, por proporcionar los datos meteorológicos de la EEA INTA Anguil.

A los Sres. Feito por permitirme recolectar en su establecimiento uno de los suelos utilizados en el estudio.

Al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), por brindarme el espacio y los recursos necesarios para llevar adelante mis estudios de posgrado.

A Mercedes Miller (UNS), por su rápida respuesta en cada etapa del trabajo.

A todos los compañeros de INTA (Anguil, General Acha y Guatraché), que participaron de este proyecto, por su colaboración y apoyo.

A mi familia, en especial a mi mamá Susana y a Lucas por su apoyo incondicional e incentivo para el estudio en esta etapa de formación y de vida.

Y a todos aquellos que, de una u otra forma, fueron parte de este proceso que hoy culmina en la presente tesis.

RESUMEN

La superficie disponible para realizar cultivos hortícolas está limitada a consecuencia del desarrollo urbano. Asimismo, el uso de agua salina en sistemas intensivos bajo cubierta degrada el suelo debido a procesos de salinización y alcalinización, con consecuencias directas en la reducción del rendimiento de los cultivos. El objetivo de esta tesis fue evaluar la incidencia de la aplicación de abono orgánico, el uso de cobertura vegetal y el riego con tres calidades distintas de agua, sobre las condiciones químicas del suelo y en la productividad del cultivo de lechuga bajo cubierta en suelos de textura contrastante. 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), 1,5 (intermedia salinidad) y 2,0 (alta salinidad) dS m^{-1} . Se fertilizó con una dosis de 100 kg N ha^{-1} , usando tres combinaciones de las fuentes urea y abono orgánico: C0 (100:0), C2 (70:30) y C4 (40:60). Se evaluaron cuatro ciclos consecutivos durante los años 2020 y 2021. Se analizó: la materia seca de raíces (MS_R), aérea (MS_A) y total (MS_T); la relación MS_A/MS_R ; la eficiencia de uso del agua (EUA) y la tasa de crecimiento (TC). Se determinó el carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico particulado (COP). La estación del año modifica la producción de lechuga aumentando durante el invierno la EUA y la TC. La aplicación de abono orgánico mitigó el efecto del agua salina en la mayoría de las variables analizadas. Al evaluar el efecto acumulado se observó una interacción significativa entre el suelo de textura arenosa y el franco arenosa ($p < 0,05$). En el suelo arenoso el valor máximo de MS_T (1504 kg ha^{-1}) se obtuvo con el agua de CE de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ con una disminución de 18% cuando se regó con agua con una CE de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Mientras que, en el suelo franco arenoso el valor máximo de MS_T (1385 kg ha^{-1}) se obtuvo con agua de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ y presentó una disminución de 54% cuando se regó con agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. La textura del suelo condiciona la respuesta a la aplicación de agua y abono orgánico. Hay un efecto positivo por el uso de cobertura vegetal. Los cambios en el COT producidos por los tratamientos fueron diferentes en ambos suelos. En el suelo de textura gruesa, el riego con agua con alta salinidad produjo acumulación del COP, posiblemente como consecuencia de la reducción de la velocidad de descomposición. En el suelo de textura fina el efecto se va perdiendo con el incremento de dosis de abono orgánico.

ABSTRACT

The surface area available for cultivation is limited as a result of urban development. Furthermore, the use of saline water in horticultural systems degrades the soil due to salinization and alkalization processes and reduces crop yield. The objective of this thesis was to evaluate the impact of the application of organic fertilizer, the use of mulch and irrigation with three different qualities of water on the chemical conditions of the soil and the productivity of lettuce cultivation under cover. Lettuce cultivation was evaluated in two soils, one sandy and one sandy loam. The main treatment was irrigated with water with an electrical conductivity (CE) of 1.0 (low salinity), 1.5 (intermediate salinity) and 2.0 (high salinity) dS m^{-1} . Fertilization was carried out at a dose of 100 kg N ha^{-1} , using three combinations of urea and organic manure: C0 (100:0), C2 (70:30) and C4 (40:60). Four consecutive cycles were evaluated during the years 2020 and 2021. The following were analyzed: root dry matter (MS_R), aerial dry matter (MS_A) and total dry matter (MS_T), the MS_A/MS_R ratio, water use efficiency and growth rate. COT and particulate organic carbon (COP) were determined. When evaluating the cumulative effect, a significant interaction was observed between the sandy textured soil and the sandy loam textured soil ($p < 0.05$). In the sandy soil, the maximum MS_T value (1504 kg ha^{-1}) was obtained with water with an CE of 1.0 dS m^{-1} with a decrease of 18% when irrigated with water with an CE of 2.0 dS m^{-1} . While, in the sandy loam soil, the maximum MS_T value (1385 kg ha^{-1}) was obtained with water with 1.0 dS m^{-1} with a decrease of 54% when irrigated with water with an CE of 2.0 dS m^{-1} . Soil texture determines the response to the application of water and organic fertilizer. The season of the year modifies lettuce production, increasing the EUA and TC during the winter. The use of saline water affects sandy soil 20% more than sandy loam soil. The application of organic fertilizer mitigated the effect of saline water on most of the variables analyzed. There is a positive effect due to the use of plant cover. The changes in COT produced by the treatments were different in both soils. In the coarse-textured soil, irrigation with water with high salinity produced an accumulation of COP, possibly as a consequence of the reduction in the decomposition rate. In the fine-textured soil, the effect is lost with the increase in the dose of organic manure.

Tabla de contenidos

1.INTRODUCCIÓN GENERAL.....	15
1.1. Horticultura en La Pampa.....	16
1.2. El cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	16
1.3. Manejo del suelo	17
1.4. Manejo del agua de riego.....	19
1.5. Cobertura vegetal	21
2.HIPÓTESIS Y OBJETIVO GENERAL.....	22
2.1. Hipótesis	22
2.2. Objetivo	22
3.MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES.....	23
3.1. Ubicación de la experiencia.....	23
3.2. Caracterización de los suelos.....	24
3.4. Caracterización del agua.....	26
3.6. Mediciones meteorológicas	28
3.7. Productividad del cultivo.....	28
3.8. Diseño experimental.....	29
3.9. Análisis estadístico	29
3.10. Organización de la Tesis	30
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
i.IMPACTO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA.	32
Introducción.....	33
Hipótesis particular	33
Objetivo específico	33
Materiales y métodos	34
Resultados y discusion	34
Efecto de la estación del año	34
Conclusiones parciales	38
ii.INFLUENCIA DEL RIEGO CON AGUA SALINA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA	39
Introducción.....	40
Hipótesis particulares	40
Objetivo específico	40
Materiales y métodos	40
Resultados y discusion	41
Materia seca total	41

Eficiencia del uso del agua y Tasas de crecimiento	42
Materia seca aérea, radicular y Relación parte aérea/raíz	42
Porcentaje de canopeo.....	44
Efecto acumulado en el suelo	45
Conclusiones parciales	45
iii. INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN CON ABONO ORGÁNICO SOBRE EL RENDIMIENTO, EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA	46
Introducción.....	47
Hipótesis particular	47
Objetivo específico	47
Materiales y métodos	47
Resultados y discusión	48
Conclusiones parciales	54
iv. INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DEL ABONO SOBRE LAS FRACCIONES ORGÁNICAS EN SUELOS DE LA PAMPA	55
Introducción.....	56
Hipótesis particular	56
Objetivo específico.....	57
Materiales y métodos	57
Suelos utilizados	57
Dosis de abono orgánico.....	58
Resultados y discusión	59
Conclusiones parciales	63
v. INFLUENCIA DEL RIEGO CON AGUA SALINA Y LA APLICACIÓN DE ABONO ORGÁNICO SOBRE EL CONTENIDO DE SALES EN EL SUELO	64
Introducción.....	65
Hipótesis particular	65
Objetivo específico	66
Materiales y métodos	66
Conclusiones parciales	71
vi. EFECTO COMBINADO DEL USO DE COBERTURA VEGETAL Y EL RIEGO CON AGUA SALINA SOBRE EL RENDIMIENTO DE LECHUGA	72
Introducción.....	73
Hipótesis particulares	73

Objetivo específico	73
Materiales y métodos	73
Resultados y discusión	74
Productividad del cultivo	74
Efecto de la salinidad del agua	75
Efecto de la cobertura vegetal	75
CONCLUSIONES PARCIALES.....	82
vii. INFLUENCIA DE DISTINTAS FUENTES NITROGENADAS SOBRE EL CULTIVO DE LECHUGA	83
Introducción.....	84
Hipótesis particular	85
Objetivo específico	85
Materiales y métodos	85
Resultados y discusion	86
Fuente nitrogenada	86
Conclusiones parciales	90
5.CONTRIBUCIONES DEL ESTUDIO Y CONCLUSIONES FINALES	91
Hipótesis general.....	92
6.RESÚMEN GRÁFICO	93
7.BIBLIOGRAFIA.....	94
8. Anexo 1. Fotos durante el ensayo.....	111
9. Anexo 2. Caracterización inicial de los suelos evaluados.....	113
10. Anexo 3. Publicaciones logradas.....	114

Lista de abreviaturas

a: arcilla
A: arenoso
alc: alcalinidad carbonato de calcio
CCV: con cobertura vegetal
C1: agua baja en sales
CE: conductividad eléctrica
CmEC: compost estiércol y cebolla
CIC: capacidad de intercambio catiónico
C0: tratamiento con urea (100:0)
C2: tratamiento con urea: abono orgánico (70:30)
C4: tratamiento con urea: abono orgánico (40:60)
CO: carbono orgánico
COM: carbono orgánico asociado a la fracción mineral
COPf: carbono orgánico particulado fino
COPg: carbono orgánico particulado grueso
COT: carbono orgánico total
C:N: relación carbono nitrógeno
CSR: carbonato de sodio residual
Etp: evapotranspiración potencial
Etr: evapotranspiración real
EUA: eficiencia de uso del agua
EUN: eficiencia de uso del nitrógeno
FA: franco arenoso
FF: fracción fina
ICO: índice de carbono orgánico
IL: índice de labilidad
IMO: índice de materia orgánica
Lactuca sativa L: lechuga
L: limo
MS: materia seca
MS_T: materia seca total
MS_A: materia seca aérea

MS_R: materia seca radicular
MS_{TAC}: materia seca total acumulada
MO: materia orgánica
N: nitrógeno
Nt: nitrógeno total
Pe: fósforo extraíble
pH: potencial Hidrógeno
RAS: relación de absorción de sodio
RR: rendimiento relativo
S1: agua baja en sodio
SB: saturación de bases
SCV: sin cobertura vegetal
TC: tasa de crecimiento
T°M: temperatura media
T°MMáx, temperatura media máxima
T°Máx, temperatura máxima
T°MMín, temperatura media mínima
T°Mín, temperatura mínima.

Índice de tablas

TABLA 1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ARENA, LIMO, ARCILLA) EN CADA SUELO UTILIZADO EN LAS MACETAS...	24
TABLA 2: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA EDÁFICA DEL SUELO UTILIZADO EN LAS MACETAS.	25
TABLA 3: CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SUELO UTILIZADO EN LAS MACETAS AL MOMENTO DEL TRASPLANTE DE LA LECHUGA.	25
TABLA 4: TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN CON N EN TRES COMBINACIONES DE LAS FUENTES ABONO ORGÁNICO Y UREA.	25
TABLA 5: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL ABONO ORGÁNICO.	26
TABLA 6: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA UTILIZADA PARA EL RIEGO DEL ENSAYO.....	26
TABLA 7: TEMPERATURAS REGISTRADAS DURANTE LOS CICLOS ENSAYADOS EN LOS AÑOS 2020 Y 2021.....	35
TABLA 8: EFECTO DE LA CALIDAD DE AGUA EN EL RIEGO PARA LOS TRATAMIENTOS CON SUELO DE TEXTURA ARENOSA, EN CADA ESTACIÓN DEL AÑO Y SOBRE LA MS_T , MS_A , EUA, TC, % DE CANOPEO Y RELACIÓN MS_A/MS_R	35
TABLA 9: EFECTO DE LA CALIDAD DE AGUA EN EL RIEGO PARA LOS TRATAMIENTOS CON SUELO DE TEXTURA FRANCO ARENOSO, EN CADA ESTACIÓN DEL AÑO Y SOBRE LA MS_T , MS_A , EUA, TC, % DE CANOPEO Y RELACIÓN MS_A/MS_R	37
TABLA 10: EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL DE CADA CICLO ANALIZADO.	38
TABLA 11: MATERIA SECA TOTAL ACUMULADA, TASA DE CRECIMIENTO Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DE LA MS_T Y ACUMULADA, DEL CULTIVO DE LECHUGA EN DOS SUELOS DE TEXTURAS DIFERENTES.	42
TABLA 12: RENDIMIENTO DE LA MATERIA SECA AÉREA, EUA Y TC Y MATERIA SECA DE RAÍCES, EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE RIEGO.....	43
TABLA 13: MATERIA SECA AÉREA, MATERIA SECA DE RAÍCES, EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y LA TASA DE CRECIMIENTO PARA CADA TEXTURA DE SUELO EVALUADO.	44
TABLA 14: PARÁMETROS DE RENDIMIENTO EN UN SUELO ARENOSO Y FRANCO ARENOSO AL CUARTO CICLO DE LECHUGA, CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA.	53
TABLA 15: EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y TASA DE CRECIMIENTO EN UN SUELO ARENOSO Y FRANCO ARENOSO LUEGO DE CUATRO CICLOS DE LECHUGA CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA.	54

TABLA 16: FRACCIONES ORGÁNICAS EN UN SUELO ARENOSO Y FRANCO ARENOSO AL FINALIZAR EL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA.	60
TABLA 17: 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.	61
TABLA 18: CORRELACIÓN ENTRE LA MS_{TAC} ($KG HA^{-1}$) Y LAS VARIABLES RELACIONADAS A LA CALIDAD DEL AGUA DEL SUELO, EN UN SUELO ARENOSO Y FRANCO ARENOSO.	68
TABLA 19: PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA: pH Y CE EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN DEL SUELO, AL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA SOBRE UN SUELO ARENOSO Y FRANCO ARENOSO.	69
TABLA 20: NIVELES DE SALES AL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA SOBRE UN SUELO ARENOSO Y FRANCO ARENOSO.	70
TABLA 21: PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE LECHUGA Y EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL EN UN SUELO ARENOSO AL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE CALIDAD DE AGUA, CON Y SIN COBERTURA VEGETAL.	77
TABLA 22: PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO Y EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL SUELO FRANCO ARENOSO AL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE CALIDAD DE AGUA, CON Y SIN COBERTURA VEGETAL.	79
TABLA 23: PRODUCTIVIDAD, EFICIENCIAS Y CALIDAD DEL CULTIVO EN UN SUELO ARENOSO AL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA.	88
TABLA 24: PRODUCTIVIDAD, EFICIENCIAS Y CALIDAD DEL CULTIVO EN UN SUELO FRANCO ARENOSO AL CUARTO CICLO DE LECHUGA CON DIFERENTE APORTE DE ABONO ORGÁNICO Y CALIDAD DE AGUA.	89

Índice de Figuras

FIGURA 1: MAPA DE LA PAMPA, DONDE SE DETALLA LA UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	23
FIGURA 2: CLASIFICACIÓN DE RIVERSIDE PARA EL AGUA UTILIZADA EN EL RIEGO DEL ENSAYO.	27
FIGURA 3: RENDIMIENTO RELATIVO (RR %) POR EFECTO DEL AGUA PARA CADA TRATAMIENTO DE ABONO Y DE SUELO.	50
FIGURA 4: SÍNTESIS DE LOS EFECTOS OBSERVADOS.....	93

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En Argentina, la horticultura se caracteriza por su gran diversidad y distribución, ya que en todo el país existen emprendimientos hortícolas, de diferentes dimensiones, siendo numerosas las especies y formas de manejo utilizadas. Representa una oportunidad para los emprendedores orientados a las producciones en fresco como a la agroindustria y, debido a la importancia de las hortalizas en la dieta y al limitado consumo a nivel nacional; conocer sus particularidades constituye una valiosa herramienta de diagnóstico, tendiente a impulsar la diversificación de las producciones y del consumo (Castagnino *et al.*, 2020).

La superficie hortícola nacional es superior a las 600000 ha, incluidas las legumbres y se destina el 93% de la producción nacional de hortalizas al mercado interno (Galmarini, 2018) y el 7% restante a la agroindustria (CFI, 2016). A partir de la década de 1970 en Argentina, se incorpora y promueve la producción bajo cobertura plástica, los invernaderos, constituyéndose en una profunda transformación del sector hortícola. Estos esquemas productivos responden a exigencias productivas, económicas y sociales; incorporando un gran número de insumos, desarrollos tecnológicos, grupos sociales y económicos (Martínez Quintana *et al.*, 1995). Los cultivos protegidos, son uno de los aportes más importantes en la revolución científico agrícola, ya que posibilitan la producción de alimentos con independencia climática, ampliando las épocas y zonas de producción (Hernández Díaz *et al.*, 2006).

Actualmente, los horticultores están atravesando un proceso de adecuación de la forma de producción buscando mantener o potenciar las ventajas agroecológicas de cada región, para adaptarse paulatinamente al cambio climático y las demandas de los consumidores, como también a la obligatoriedad de las buenas prácticas agrícolas. Uno de los caminos para ello es producir teniendo en cuenta los principios de la intensificación sostenible, concepto que puede definirse como la mejora gradual de la eficiencia ecológica de los agroecosistemas a través de la innovación, aumento de la productividad/rentabilidad, mantenimiento o mejora de los recursos naturales, reducción de la dependencia de insumos externos y favorecimiento de la equidad/inclusión social (Gianoni, 2021). Se resalta que no es un modelo o paquete tecnológico, sino un enfoque integrador de los factores comprometidos en cada sistema hortícola (Aquino, 2022).

Los invernaderos nacionales se han desarrollado aprovechando estructuras locales existentes o copiando modelos de otras zonas de producción, pero en ningún caso sobre bases científicas para lograr el mejor aprovechamiento climático de cada región en particular (Lenschak *et al.*, 2019). Una desventaja es que no presentan un control climático total, porque el volumen de aire

que encierra no es suficiente para mantener estabilidad en la temperatura (Saavedra *et al.*, 2017). En la actualidad, se encuentra difundido el cultivo de lechuga en invernaderos ya que presentan una mayor temperatura media del aire con respecto al cultivo de campo. Las plantas en el invernadero incrementan el número de hojas por unidad de tiempo, la acumulación de biomasa y los rendimientos. Asimismo, en el invernadero hay una disminución de los días del ciclo, por lo que anualmente, según la zona, se pueden realizar hasta 6 o 7 ciclos (Carassay, 2022).

1.1. Horticultura en La Pampa

Históricamente, la producción de hortalizas en la provincia de La Pampa ha sido de escasa relevancia, representando menos del 5% del consumo provincial y generando una demanda insatisfecha tanto en cantidad como en calidad de hortalizas (Rosane, 2014). Sin embargo, en los últimos años, este sector ha experimentado un notable crecimiento, en línea con la creciente demanda de alimentos frescos (Ponce y Ahumada, 2022; Siliquini *et al.*, 2001; Muguiro, 2014), siendo factible cultivar bajo cubierta durante el otoño y la primavera sin mayores inconvenientes (Baudino y Siliquini, 2022). Las condiciones agroclimáticas de La Pampa, caracterizadas por inviernos fríos (por debajo de -5°C) y veranos calurosos (con temperaturas de hasta 40°C), obligan a los productores hortícolas a utilizar diferentes sistemas de producción según la estación y la zona. Estos sistemas incluyen la producción bajo cubierta, a campo abierto o bajo umbráculos (Muguiro, 2014; Siliquini *et al.*, 2001). A pesar de representar menos del 5% del consumo provincial, la superficie destinada a la producción hortícola abarca aproximadamente 60 hectáreas a campo y 3200 m² bajo cubierta, según un informe de la Unión Industrial Argentina de 2008. De la superficie bajo cubierta, el 55% se destina a la producción de lechuga (35%), acelga (19%) y espinaca, con un 90% de la superficie utilizando riego por goteo. En cultivos extensivos, predominan el riego por surco, seguido del secano y, finalmente, el riego por goteo (21%) (Carassay, 2022).

1.2. El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

El cultivo de lechuga, una de las hortalizas más importantes a nivel mundial por su valor nutritivo y facilidad de manejo, ha ganado popularidad entre los productores hortícolas debido a su rápido retorno económico y su corto ciclo productivo (Giobellina *et al.*, 2021). Este cultivo requiere suelos ligeros, con buen contenido de materia orgánica, alta capacidad de retención de agua y buen drenaje. Además, su tolerancia a las aguas salinas es limitada, con un umbral de 1,3 dS m⁻¹ (Carter, 1981; Grismer *et al.*, 2018). El riego inadecuado, la falta de estructuras de

drenaje y el uso excesivo de fertilizantes contribuyen a la degradación del suelo mediante salinización, desbalance de nutrientes y pérdida de fertilidad física (Andreau *et al.*, 2017). En Argentina, el consumo per cápita de lechuga es de 19 kilos al año, y su cultivo puede realizarse durante todo el año, especialmente en los cinturones verdes de las grandes ciudades (Leguizamón, 2018). En La Pampa, la lechuga es uno de los vegetales de hoja más consumidos en fresco (Siliquini *et al.*, 2017), ocupa el primer lugar entre los cultivos protegidos, con una producción aproximada de 3,5 hectáreas por año (Censo Hortícola, 2011). La lechuga producida en la provincia es de alta calidad comercial, con plantas sanas, limpias, tiernas y grandes, lo que permite una producción continua durante todo el año y un ciclo productivo más corto. El pH ideal para su crecimiento oscila entre 6,6 y 7,8 (Di Benedetto, 2005). Estudios han demostrado que la salinidad del agua de riego puede reducir significativamente los rendimientos del cultivo, llegando a pérdidas del 60% en casos extremos (Carassay *et al.*, 2013; Muguero, 2014). La lechuga también es muy sensible al déficit hídrico debido a su sistema radicular poco profundo, lo que afecta directamente la producción de materia verde, requiriendo suelos con una humedad cercana a la capacidad de campo (Adrover *et al.*, 2001). Esta necesidad lleva a los productores a regar con alta frecuencia, a menudo en exceso. La temperatura óptima para el crecimiento de la lechuga es de 18°C, con un rango que varía entre 7°C y 24°C, mientras que la temperatura del suelo también es crucial, ya que las raíces disminuyen su actividad por debajo de los 7°C (Lang *et al.*, 2013).

1.3. Manejo del suelo

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). La materia orgánica (MO) es una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos con diferencias importantes en tamaño, composición, función y dinámica (Galantini, 2008). Está formada por compuestos con propiedades bioquímicas y grado de asociación con la matriz mineral muy diversa (Martínez *et al.*, 2016). Las características de la MO van a depender de la cantidad y tipo de los aportes orgánicos realizados por los residuos de los cultivos, de las características de los materiales inorgánicos y de las condiciones para el proceso de humificación, en particular temperatura y humedad (Galantini *et al.*, 2018). Es el principal indicador y el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Galantini y Rosell 2006; Duval *et*

al., 2013). La calidad del suelo es sensible a los cambios que se producen ante diferentes sistemas de producción (Doran y Parkin, 1994).

Una forma de abordar la fertilización 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 de la MO, 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).

Entre los problemas más comunes de los suelos hortícolas de la provincia de La Pampa se encuentran la salinidad, sodicidad, y la pérdida de materia orgánica y fertilidad física (Álvarez *et al.*, 2023; Spedaletti, 2015). Además, la escasez de agua de calidad agrava las dificultades para la producción hortícola, ya que gran parte del agua utilizada en riego proviene de acuíferos salinos (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011). En resumen, la producción hortícola en La Pampa, particularmente la de lechuga, enfrenta varios desafíos, pero ha mostrado un crecimiento sostenido gracias a la adopción de nuevas tecnologías y al interés en satisfacer la demanda de productos frescos.

1.4. Manejo del agua de riego

La gestión sostenible y equitativa de los recursos hídricos es crucial para el desarrollo de sistemas alimentarios sostenibles. Sin embargo, la escasez de agua, agravada por el desequilibrio entre la oferta y la demanda, y los problemas relacionados con su calidad, representan amenazas crecientes para la seguridad alimentaria y nutricional debido a su impacto en los sistemas agroalimentarios (FAO, 2020). Dado que la agricultura depende en un 95% del suministro de agua, es responsable del 72% de las extracciones globales de agua dulce (FAO, 2020). Mejorar la gobernanza del agua es clave para alcanzar la sostenibilidad a largo plazo en la gestión y uso de los recursos hídricos, así como para desarrollar sistemas agroalimentarios más eficientes, estables y equitativos (FAO, 2023).

Por otra parte, la actividad humana ejerce una considerable presión sobre los suelos, siendo la sobreexplotación y las alteraciones en la cobertura del suelo los factores más influyentes en la erosión (Lense *et al.*, 2021). En este contexto, el uso eficiente de los recursos y de insumos adquiere una relevancia significativa para el manejo agronómico, con implicancias en la rentabilidad de los cultivos y la calidad ambiental (Andrade *et al.*, 2017).

El riego es fundamental para el desarrollo agrícola, especialmente en sistemas de cultivo bajo cubierta, donde el agua es la única fuente de suministro hídrico. Existen diversos sistemas de riego, como surco, aspersión o goteo, cuya elección depende de la especie cultivada, la disponibilidad y calidad del agua, las características del suelo y el nivel tecnológico y económico del productor. El riego por goteo es el sistema más común en la producción bajo cubierta, debido a su capacidad para aplicar agua de manera localizada, lo que mejora la eficiencia y permite su uso en suelos y aguas de baja calidad (Szczesny *et al.*, 2014).

Históricamente, la cantidad de agua aplicada era la variable más importante, pero hoy en día la calidad del agua ha ganado mayor relevancia. El concepto de "calidad del agua" se refiere a las características del agua que determinan su idoneidad para distintos usos, poniendo énfasis en sus propiedades químicas. Sin embargo, los efectos de su aplicación dependen de factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas y el tipo de cultivo (Bresler *et al.*, 1982, citado por Báez, 1999). Otros estudios evalúan la calidad del agua según los problemas que puede causar en los suelos (Alconada y Minghinelli, 1998).

Muguiro (2014) y Pla Sentis (2014) identifican dos parámetros claves para la aptitud de los cultivos: el pH del suelo y la alcalinidad del agua. A medida que aumenta la concentración de sales en el suelo, las plantas necesitan gastar más energía para absorber el agua, lo que reduce la disponibilidad hídrica (Fuentes Yague, 1995; Prieto y Angueira, 1996). Aun así, los invernaderos son sistemas de producción que mejoran la eficiencia del uso del agua al crear microclimas que favorecen la fotosíntesis, reducen la evapotranspiración y aumentan los rendimientos (Salazar *et al.*, 2018).

El uso del agua en estos sistemas está estrechamente relacionado con la fertirrigación, un concepto que considera la concentración de sales disueltas, la presencia relativa de sodio y otros nutrientes como calcio, magnesio y sulfatos, que influyen en la preparación de una solución nutritiva adecuada para los cultivos (Gómez *et al.*, 2017). Sin una gestión adecuada del agua, pueden surgir problemas como la menor productividad, la baja calidad del producto, el aumento de enfermedades y la ineficiencia en el uso del agua y fertilizantes, además del deterioro químico del suelo (Acosta García y Salvadori Verón, 2017).

La salinización del suelo también inhibe la actividad de los microorganismos descomponedores, lo que afecta la mineralización del carbono. Aunque el contenido de arcilla en el suelo puede mediar este efecto negativo, los impactos interactivos entre las concentraciones de sales y las propiedades del suelo sobre la mineralización de carbono aún no están claros (Ruihuan *et al.*, 2021).

En la provincia de La Pampa, el agua de los acuíferos se clasifica como bicarbonatada sódica, con un pH entre 8 y 8,5, y conductividades eléctricas entre 1 y 1,5 dS m⁻¹, superando estos valores en algunos sectores del territorio (Lang, 2016). A pesar de conocer la problemática, muchos productores no emplean técnicas para mejorar la calidad del agua (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011). Esto, sumado al uso prolongado de agua de mala calidad en suelos sin aporte de agua de lluvia, afecta el rendimiento de los cultivos, lo que subraya la necesidad de mitigar estos daños (Lang, 2016).

El impacto de la actividad humana en los suelos bajo cultivo protegido, aunque menos investigado, también genera alteraciones físicas significativas (Marrare *et al.*, 2011). Para abordar estos problemas, la aplicación de residuos orgánicos compostados puede ayudar a regenerar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a mediano y largo plazo (Iocoli *et al.*, 2017).

1.5. Cobertura vegetal

El agua es uno de los factores que genera la mayor limitación en la producción de los cultivos (FAO, 2012). La optimización del uso de este recurso es un aspecto fundamental para el desarrollo de sistemas agrícolas sustentables (Valenzuela *et al.*, 2009). En la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana las precipitaciones limitan la productividad (Díaz Zorita *et al.*, 2002), y el principal factor de pérdida de agua desde la superficie del suelo es la evaporación, que puede reducirse con coberturas o acolchados, términos que hacen referencia a cualquier manto de restos vegetales que se forman naturalmente o son aplicados a la superficie del suelo sin ser incorporados al mismo (Turney y Menge, 1994), así como a cualquier material sintético que se coloca sobre la superficie del suelo (Robinson, 1988).

Las técnicas de preservación del suelo y agua incluyen medidas agronómicas, de ingeniería y enfoques biológicos, destacándose la cobertura vegetal por su bajo costo y rápida acción para controlar la erosión edáfica (Li *et al.*, 2021; Keesstra *et al.*, 2019). Esta práctica es uno de los principios más importantes para el desarrollo de estrategias de manejo sustentable, ya que puede influir sobre las variaciones de temperatura, amortiguando los picos de máximas y mínimas en los primeros 15 cm del suelo, efecto que se genera por la disminución de la energía que llega al suelo y al intercambio de calor. Además, es una práctica eficaz que reduce la salinidad y conserva la humedad en la zona radicular (Rahman *et al.*, 2008), principalmente en los primeros cm de suelo (Zhang *et al.*, 2008), lo que permite el uso de aguas más salinas sin un efecto perjudicial sobre el crecimiento de los cultivos.

El cultivo y los rastrojos cubren el suelo, reduciendo las pérdidas por evaporación directa y aumentando la retención de agua y la protección contra la erosión (Silva *et al.*, 2015). Además, influye en características del microclima, como la temperatura del aire y del punto de rocío (Wang *et al.*, 2018), sus variaciones y la cantidad de residuos afectan varias propiedades edáficas relacionadas con la dinámica del agua, el ciclado de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Asimismo, la cobertura del suelo protege contra la radiación solar directa y la erosión, además de mejorar el balance de carbono y la protección del suelo (Galantini y Sa Pereira, 2018), con efectos positivos en la estructura microbiológica,

la fertilidad (Buyer *et al.*, 2017) y la macrofauna del suelo (Novara *et al.*, 2021; Mihelič *et al.*, 2021; Roarty *et al.*, 2017). La cobertura orgánica al descomponerse libera nutrientes que aumentan la fertilidad y la biodiversidad edáfica, reduciendo las fluctuaciones de temperatura y humedad (Zhang *et al.*, 2020). Esto minimiza la erosión del suelo y mejora su porosidad, contribuyendo así a su salud y estabilidad (Mulumba y Lal, 2008). Zhang *et al.*, (2008), indican que en suelos desnudos la mayor acumulación de sales se produce en el suelo superficial debido al efecto de evapoconcentración. Sin embargo, el efecto del acolchado sobre la salinidad del suelo depende de la tasa de evaporación y del tipo de acolchado. En un cultivo de acelga el aumento de la salinidad del agua de riego incrementó la salinidad del suelo, no obstante, el uso del acolchado con grava, hojas de pino y paja de arroz redujo los valores de conductividad eléctrica al 61, 62 y 50%, respectivamente, de la conductividad eléctrica del testigo sin acolchado (Zhang *et al.*, 2008). Además, el uso de cobertura vegetal representa una alternativa positiva para mejorar el balance de carbono y generar protección del suelo (Galantini y Sa Pereira, 2018). Según la FAO (2012), la cobertura del suelo es uno de los principios de la agricultura de conservación, bajo este nombre se denomina al manejo del suelo destinado a sostener altos rendimientos de los cultivos con las mínimas consecuencias negativas sobre los recursos agua, suelo y ambiente.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVO GENERAL

2.1. Hipótesis

El uso de abono orgánico y cobertura vegetal en el suelo reducen los efectos negativos del agua salina, incrementan la eficiencia en el uso del agua y la productividad de lechuga bajo cubierta, con efectos que varían según la textura del suelo.

2.2. Objetivo

Evaluar la incidencia de la aplicación de abono orgánico, el uso de cobertura vegetal y el riego con tres calidades distintas de agua, sobre las condiciones químicas del suelo y en la productividad del cultivo de lechuga bajo cubierta.

3. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

3.1. Ubicación de la experiencia

El área de estudio se sitúa en la región central de la provincia de La Pampa (Figura 1), en una zona de transición entre la región subhúmeda y semiárida. El Valle Argentino es una depresión alargada de ancho variable (entre 3 y 18 km), el cual presenta un cordón medanoso central que lo divide, formando lateralmente dos sectores deprimidos (Mariño y Schulz, 2008). Se encuentra compuesto por planicies, valles y lagunas. Su suelo se conforma por distintas capas de arenas traídas por vientos y depositadas sobre el basamento, estas son arenas finas, no limosas que constituyen la zona de recarga del acuífero Valle Argentino y es aquí donde se encuentran los recursos hídricos más importantes (Iglesias *et al.*, 2016).

El promedio de precipitaciones es de 554 mm, siendo marzo el mes de mayores lluvias y julio el más seco. Según el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa, la temperatura máxima absoluta registrada en la zona alcanzó los 44,7°C y la mínima absoluta -14,0°C, para los meses de enero y julio, respectivamente. La fecha promedio de la primera helada es el 8 de abril y la última es el 20 de octubre, con un desvío de 15 a 20 días.



Figura 1: Mapa de La Pampa, donde se detalla la ubicación del área de estudio.

El estudio se realizó en la huerta demostrativa de la Agencia de extensión rural INTA General Acha, La Pampa, Argentina (37°36'44,381''S 64°56'64,995''O), km 28 RN 152, bajo invernadero (Foto 1 anexo).

El abono se incorporó en el suelo previo al trasplante de la lechuga, variedad Sicilia. La iniciación del ensayo fue a través de plantines provistos por el Centro Regional de Educación Tecnológica (CERET), General Pico. Se evaluó el cultivo durante 4 ciclos consecutivos totales, iniciando el primer ciclo del ensayo en el invierno del año 2020, para continuar con el segundo ciclo en primavera del corriente año. En las estaciones de invierno y primavera del próximo año se realizaron el tercer y cuarto ciclo para culminar con el estudio.

3.2. Caracterización de los suelos

Se seleccionaron dos suelos contrastantes y característicos de la región. El suelo arenoso fue recolectado en el establecimiento rural “Colonia Lía” en General Acha y el suelo franco arenoso en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria “Ing. Agr. Guillermo Covas” Anguil de INTA. Para realizar la caracterización de los suelos en estudio se tomaron dos muestras compuestas (cada muestra con 5 submuestras) en tres sitios diferentes, a las profundidades de 0-10 y 10-20 cm. Luego se tamizó la muestra del suelo a menos de 4 mm y se rellenaron todas las macetas para dar inicio al estudio.

Los parámetros determinados fueron: textura, pH y conductividad eléctrica (CE), obtenidos por el método potenciométrico en extracto con una relación suelo/agua 1:2,5; fósforo extractable (Pe) (Bray & Kurtz, 1945); cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por extracción con acetato de amonio a pH 7 y acetato de sodio. Por último, se realizó la medición de los cationes por espectrometría de emisión por plasma, equipo Shimadzu ICPE 9000.

Los datos de textura se observan en la Tabla 1, los de pH, conductividad eléctrica (CE) y fósforo extractable (Pe) en la Tabla 2; y los cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Tabla 3.

Tabla 1: Análisis granulométrico (arena, limo, arcilla) en cada suelo utilizado en las macetas.

Textura	Arcilla (a)	Limo (L) %	Arena	a+L
FRANCO ARENOSO	11,8	31,8	56,4	43,6
ARENOSO	3,2	8,3	88,5	11,5

Tabla 2: Caracterización química edáfica del suelo utilizado en las macetas.

Textura	MO %	IMO	Pe mg kg ⁻¹	pH 1:2,5	CE dS m ⁻¹
FRANCO ARENOSO	2,4	5,5	26,0	6,6	0,7
ARENOSO	1,4	12,3	29,2	7,1	0,7

MO, materia orgánica (%), IMO, índice de materia orgánica, Pe, fósforo extractable (mg kg⁻¹), pH, potencial Hidrógeno, CE, conductividad eléctrica (dS m⁻¹).

Tabla 3: Caracterización edáfica del suelo utilizado en las macetas al momento del trasplante de la lechuga.

Textura	SB	CIC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	%		meq 100 g ⁻¹			
FRANCO ARENOSO	100*	12,2	9,5	1,1	0,0	3,3
ARENOSO	94,7	5,7	3,4	1,1	0,1	0,8

SB, saturación de bases (%); CIC, capacidad de intercambio catiónico (meq 100 g⁻¹); Ca²⁺, calcio (meq 100 g⁻¹); Mg²⁺ (meq 100 g⁻¹); Na⁺ (meq 100 g⁻¹); K⁺ (meq 100 g⁻¹). *Algunos valores de calcio intercambiable están sobreestimados por la presencia de carbonato de calcio (Pablo Zalba, Departamento agronomía UNS, comunicación personal).

3.3. Caracterización del abono

Se fertilizó con residuos biotransformados en base a cebolla y estiércol de vaca como abono orgánico y también se aplicó urea (fertilizante de síntesis química).

Las dosis de abono aplicadas 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 en una hectárea (densidad aparente 1,2 Mg m⁻³ y profundidad 0,1 m). En base a la cantidad de abono orgánico se determinó el contenido de nitrógeno que aporta la enmienda. Posteriormente se completó hasta llegar a 100 kg N ha⁻¹ con fertilizante de origen sintético (urea) como se ve en la Tabla 5. Los tratamientos de fertilización fueron expresados en kg ha⁻¹ de Urea: Abono orgánico para igualar una dosis de 100 kg N ha⁻¹. Detalles de las dosis en (Tabla 4).

Tabla 4: Tratamientos de fertilización con N en tres combinaciones de las fuentes abono orgánico y urea.

Fuentes	C0	C2	C4
	kg ha ⁻¹		
Abono orgánico	0	30	60
Urea	100	70	40
N total	100	100	100

Se realizaron las siguientes determinaciones químicas: materia orgánica (MO) total a través del método calcinación en mufla a 550°C por 4 h (Martínez et al., 2017), carbono orgánico total (COT) por analizador automático Leco truspec (Leco Corporation, St Joseph, MI), nitrógeno total (Nt) mediante el método de Kjeldahl (Bremner, 1996), fósforo, azufre, magnesio, potasio, manganeso y hierro mediante digestión húmeda (ácido nítrico y perclórico 2:1) con posterior determinación por espectrometría de emisión por plasma. Además, se utilizó el método de pH en suspensión suelo: agua 1:2,5 y CE en pasta saturada. En la Tabla 5 se detalla la caracterización química del residuo del abono orgánico utilizado.

Tabla 5: Caracterización química del abono orgánico.

Abono orgánico	pH	CE (dS m ⁻¹)	CO (g kg ⁻¹)	Nt	C:N	MO (%)	P	S	Mg	K	Mn	Fe
Cm EC	8,6	0,0045	176,8	15,79	11,2	31,89	2,26	2,1	8,28	18,63	339,5	5,87

Cm EC, compost estiércol con residuo de producción de cebolla. CE, conductividad eléctrica. CO, carbono orgánico. Nt, nitrógeno total. MO, materia orgánica. P, fósforo. S, azufre. Mg, magnesio. K, potasio. Mn, manganeso. Fe, hierro.

3.4. Caracterización del agua

Para el ensayo se prepararon tres aguas con diferentes valores de CE (1,0; 1,5 y 2,0 dS m⁻¹), a partir de una fuente de agua proveniente de Chacharramendi, La Pampa. Para su caracterización se realizó un análisis químico y se calificó según las normas de Riverside (USSSL, 1954), para definir la aptitud del recurso para el uso en riego. Los datos de la caracterización del agua se observan en la Tabla 6. En este estudio el agua es bajo en sales (C1), lo cual significa bajo riesgo de salinidad y en cuanto al sodio se clasifica baja en sodio (S1) lo cual significa bajo riesgo de sodificación (Figura 2).

Tabla 6: Composición química del agua utilizada para el riego del ensayo.

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

Ca⁺⁺, calcio (mg L⁻¹). Mg⁺⁺, magnesio (mg L⁻¹). Na⁺, sodio (mg L⁻¹). CO₃⁼, carbonato. HCO₃⁻, bicarbonato (mg L⁻¹). Cl⁻, cloruro (mg L⁻¹). Alc CaCO₃⁼, alcalinidad carbonato de calcio. pH, potencial Hidrógeno. CE, conductividad eléctrica. RAS: Relación de absorción de sodio.

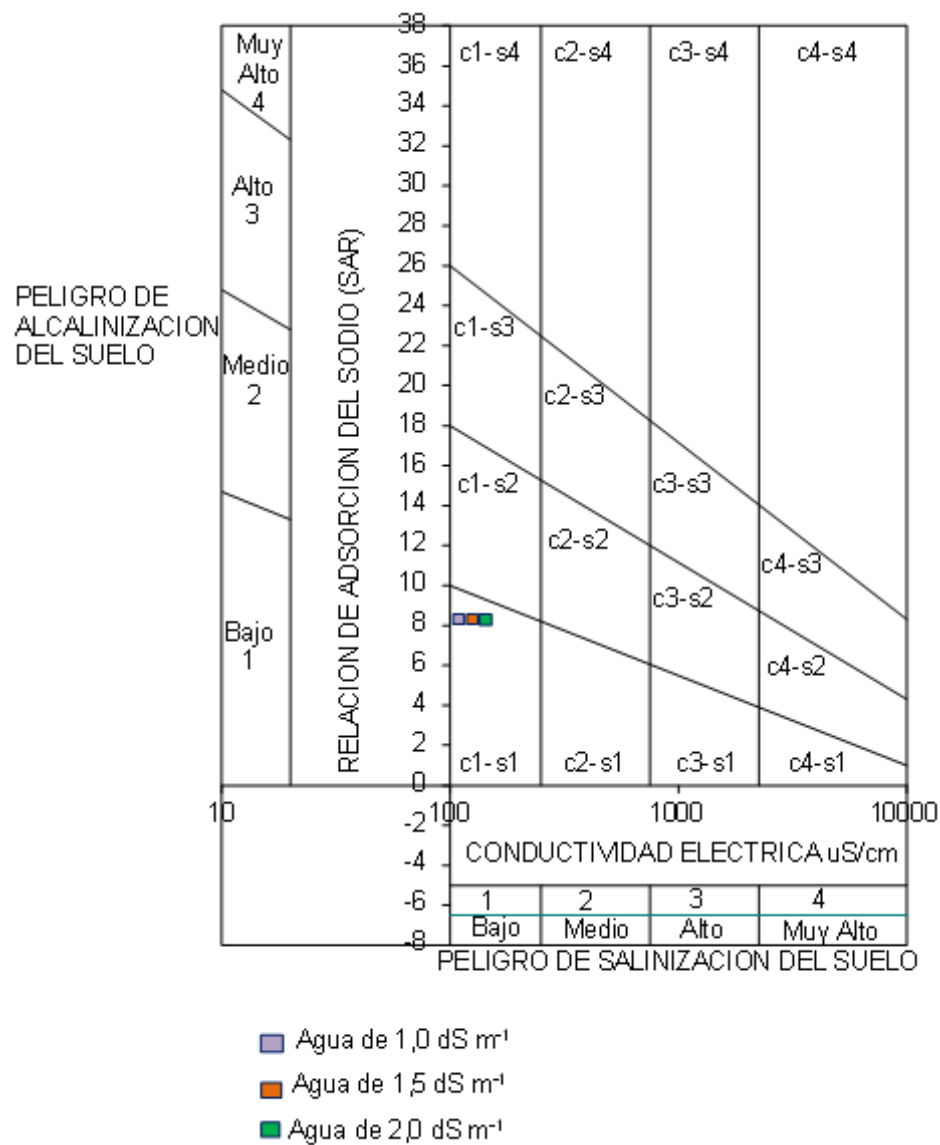


Figura 2: Clasificación de Riverside para el agua utilizada en el riego del ensayo.

3.5. Cobertura vegetal

Se utilizó paja de centeno como cobertura vegetal (CCV), el cual se agregó en cada maceta 150 g (1500 kg ha^{-1}). Los tratamientos sin cobertura (SCV), fueron a suelo desnudo (Foto 2, anexo).

3.6. Mediciones meteorológicas

Las variables meteorológicas que se midieron fueron la temperatura media mensual ($T^{\circ}\text{M}$), la temperatura media máxima ($T^{\circ}\text{MMáx}$), la temperatura máxima ($T^{\circ}\text{Máx}$), la temperatura media mínima ($T^{\circ}\text{MMín}$) y la temperatura mínima ($T^{\circ}\text{Mín}$), a través de un termómetro colocado en el interior del invernadero. Además, se utilizó los datos de evapotranspiración de referencia ($E\text{T}_o$), a partir de la estación meteorología situada en la Estación Experimental Agropecuaria “Ing. Agr. Guillermo Covas” Anguil de INTA, ubicada a 100 km del sitio bajo estudio.

En este estudio, se utilizó el coeficiente del cultivo medio (K_c) de 0,72 empleado por Muguero (2014), en la zona de General Pico, La Pampa.

En el período de estudio, las estaciones fueron bien marcadas, registrándose dentro del invernadero en los meses estivales temperaturas promedios de $22,8^{\circ}\text{C}$ y en los meses invernales las temperaturas medias oscilaron en $19,8^{\circ}\text{C}$. Por lo cual, durante los ciclos desarrollados en invierno se empleó como insumo externo a la cobertura plástica, malla anti helada para brindar mayor cuidado a los plantines, mientras que el manejo durante los ciclos que se desarrollaron en primavera fue diferente, ya que las puertas de frente y fondo permanecieron abiertas con el fin de aumentar la ventilación en el interior. También se adicionó media sombra negra al 35% por encima del polietileno para disminuir las altas temperaturas que se alcanzan por debajo de la cobertura plástica y de esta manera disminuir los efectos de estrés por calor a los plantines.

3.7. Productividad del cultivo

En esta investigación se consideró la producción de lechuga destinada a consumo en fresco, por lo que la planta no alcanza a cumplir todas sus etapas fenológicas, ya que se cosecha en un momento de activo crecimiento y por ende el consumo de agua sería menor.

Se analizaron diversas variables relacionadas a la productividad del cultivo de lechuga, entre ellas se cuantifico: 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 (Foto 3, anexo). Por último, se determinó el porcentaje de canopeo, el cual consistió en la medición del porcentaje de cobertura foliar mediante la aplicación “CANOPEO” (Foto 5, anexo).

Se evaluó el efecto de la época del año en cada ciclo de lechuga. Se consideró la producción de lechuga sin buscar el tamaño comercial ya que se cosechó en un momento de activo crecimiento, pero logrando observar el efecto del agua de riego. Se hizo el análisis estadístico para cada ciclo expresado en g, se realizó la corrección de los valores de g a mg mm^{-1} y se analizó cada ciclo según su índice, debido a una fuerte interacción entre ciclos. Se determinó la eficiencia del uso del agua de la MS_T (EUA_{MST} , $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN , kg N ha^{-1}), para la MS total, aérea y radicular y la tasa de crecimiento de la MS_T (TC , $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) (Ecuaciones 1, 2 y 3):

$$EUA (\text{mg}^1 \text{MS ha}^{-1} \text{mm}^{-1}) = MS_T A^{-1} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

donde: MS_T : producción de materia seca total a cosecha en crecimiento vegetativo del cultivo (hojas y raíces) (mg MS ha^{-1}); A : agua aplicada con el riego durante el ciclo del cultivo (mm).

$$EUN (\text{kg N ha}^{-1}) = MS_T N \quad [\text{Ecuación 2}]$$

donde: MS : producción de materia seca (kg MS ha^{-1}); x : total, aérea o raíz a cosecha; N : nitrógeno aplicado (kg N ha^{-1}).

$$TC (\text{mg}^1 \text{MS ha}^{-1} \text{día}^{-1}) = MS_T D^{-1} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

donde: MS_T : producción de materia seca total a cosecha (hojas y raíces) (mg MS ha^{-1}); D : período del ciclo del cultivo (días).

3.8. Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con 5 repeticiones, siendo un total de 30 tratamientos y 150 macetas (Foto 4 anexo). Se desarrollo en macetas de 1,2 litros distribuidas al azar sobre una mesada.

3.9. 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 $\alpha \leq 5\%$.

3.10. Organización de la Tesis

La presente tesis analiza alternativas de manejo del suelo bajo invernadero, cuando se riega con agua de diferente calidad y se fertiliza con abono de diferente fuente nitrogenada. Cuenta con una introducción general, hipótesis y objetivos del estudio y desarrolla diferentes enfoques relacionados, los cuales se detallan a continuación:

- i. Analizar el impacto de la variabilidad estacional sobre el rendimiento de lechuga.
- ii. Evaluar la influencia del riego con agua salina sobre el rendimiento del cultivo de lechuga.
- iii. Evaluar la incidencia de la fertilización con abono orgánico sobre el rendimiento, eficiencia de uso agua y la tasa de crecimiento del cultivo de lechuga.
- iv. Analizar las fracciones orgánicas en suelos de La Pampa, luego de la incorporación de abono orgánico y riego con agua salina.
- v. Determinar el contenido de sales en el suelo luego de la incorporación de abono orgánico y riego con agua salina.
- vi. Analizar el efecto combinado del uso de cobertura vegetal, el riego con agua salina y la aplicación de abono orgánico en distintos suelos, sobre el rendimiento de lechuga.
- vii. Evaluar el efecto de distintas fuentes nitrogenadas sobre el cultivo de lechuga.

Finalmente se presentan las principales contribuciones del estudio y las consideraciones finales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- i. Impacto de la variabilidad estacional en el rendimiento de lechuga.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se encuentra desarrollado el cultivo de lechuga en invernaderos ya que presentan una mayor temperatura media del aire con respecto al cultivo de campo. Las plantas en el invernadero incrementan el número de hojas por unidad de tiempo, la acumulación de biomasa y los rendimientos. Asimismo, en el invernadero hay una disminución de los días del ciclo, por lo que anualmente, según la zona, se pueden realizar hasta 6 o 7 ciclos (Carassay, 2022). En la Provincia de La Pampa, la producción hortícola representó históricamente una actividad de escasa importancia, pero en los últimos años se ha incrementado el cultivo en forma sostenida durante las últimas tres décadas, tanto bajo cubierta como al aire libre (Siliquini *et al.*, 2001 y Muguiro, 2014), y es factible cultivar sin inconvenientes durante otoño y primavera (Baudino y Siliquini, 2022). La lechuga es uno de los cultivos más elegidos por los productores hortícolas debido a su rápido retorno económico y a su corto ciclo productivo (Giobellina *et al.*, 2021). Las necesidades de agua de la lechuga, para completar su ciclo, se sitúan alrededor de 110 mm en primavera para un ciclo de 60 días y 140 mm en verano para un ciclo de 30 días. A las necesidades hídricas de la lechuga se le agregan la evaporación directa desde la superficie del suelo (Balcaza *et al.*, 2022). Entre las problemáticas habituales de los suelos hortícolas de la provincia se encuentran la sodicidad, salinidad, pérdida de materia orgánica y fertilidad física (Álvarez *et al.*, 2023; Spedaletti, 2015). El agua utilizada para riego en los emprendimientos productivos es mayormente de origen subterráneo (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011), en general, la calidad no es buena, son aguas salinas y bicarbonatadas-sódicas (Lang *et al.*, 2013 y Lang, 2016).

HIPÓTESIS PARTICULAR

La variabilidad en las condiciones ambientales asociadas a las estaciones del año y la interacción con diferentes texturas de suelo reducen el crecimiento del cultivo de lechuga con altas temperaturas particularmente en suelos francos a iguales calidades de agua.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Evaluar el efecto de la estación de crecimiento sobre el rendimiento de lechuga, la tasa de crecimiento y la eficiencia de uso del agua usando agua con diferente contenido de sales en dos suelos de textura contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron los dos suelos detallados anteriormente, uno arenoso y otro franco arenoso. Para los tratamientos se utilizaron tres calidades de agua con CE de 1,0; 1,5 y 2,0 dS m⁻¹, (Tabla 5, sección 3.4).

Se analizaron variables de producción: materia seca aérea (MS_A), la cual representa la parte aérea de la planta (hoja y tallo) expresada en kg ha⁻¹, materia seca de raíces (MS_R) y la materia seca total (MS_T), la cual es la suma de la MS_A y la MS_R. También se determinó el % de canopeo y la relación parte aérea/raíz (MS_A/MS_R) en cada ciclo del cultivo.

Se consideró el rendimiento de lechuga sin buscar el tamaño comercial, ya que se cosechó en un momento de activo crecimiento, pero logrando observar el efecto del agua de riego. Se determinó la eficiencia del uso del agua de la MS_T y la tasa de crecimiento de la MS_T según las ecuaciones 1 y 3 previamente mencionadas en materiales y métodos generales (3.0).

El diseño y análisis estadístico se describe en materiales y métodos generales (3.8 y 3.9).

Se midieron las variables meteorológicas mencionadas en el apartado de materiales y métodos generales de esta tesis.

En síntesis, en esta parte se analizó la variabilidad de las estaciones del año: primavera e invierno y su impacto sobre el rendimiento de lechuga y la respuesta a la salinidad. Los tratamientos principales fueron tres calidades de agua diferentes y una dosis de abono de 100 kg N ha⁻¹ sólo con aporte de urea (tratamiento C0). Se expresó los resultados en kg MS ha⁻¹ teniendo en cuenta la superficie de la maceta y el tamaño final de la lechuga el cual fue inferior al observado a campo, ya que el estudio se desarrolló en macetas y bajo invernadero.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la estación del año

En ambos años de estudio, las estaciones fueron bien marcadas, registrándose dentro del invernadero en los meses primaverales temperaturas medias de 22,7°C, en tanto que en los meses invernales las temperaturas medias fueron de 16,1°C (Tabla 7).

Tabla 7: Temperaturas registradas durante los ciclos ensayados en los años 2020 y 2021.

Ciclo	Año	Ciclo	T°M	T°MMáx	T°Máx	T°MMín	T°Mín
		días	°C				
1	2020	55	15,2	30,2	44,0	0,4	-8,0
2	2020	31	22,7	38,2	46,0	7,3	0,0
3	2021	41	17,0	32,8	46,0	1,9	-4,0
4	2021	25	23,0	36,4	48,0	9,4	3,0

T°M, temperatura media. T°MMáx, temperatura media máxima, T°Máx, temperatura máxima, T°MMín, temperatura media mínima, T°Mín, temperatura mínima.

Respecto al efecto de la estación del año, en el suelo arenoso no se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año. El comportamiento fue similar en invierno y en primavera, excepto en las variables MS_A , en donde se comprobó un incremento de la biomasa aérea del 23% superior, un 46% de mayor relación MS_A/MS_R y una EUA del 30% mayor en la estación de invierno, con diferencias significativas entre estaciones (Tabla 8).

Tabla 8: Efecto de la calidad de agua en el riego para los tratamientos con suelo de textura arenosa, en cada estación del año y sobre la MS_T , MS_A , EUA, TC, % de Canopeo y Relación MS_A/MS_R .

ARENOSO		Primavera			Invierno			Efecto Estación		
MS, kg ha ⁻¹	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0	
Total	1308 b	1380 b	838 a	1334 B	1651 B	759 A	ns	ns	ns	
Aérea	641 ab	689 b	473 a	864 B	1010 B	465 A	ns	*	ns	
Raíz	668 b	691 b	366 a	470 AB	641 B	294 A	*	ns	ns	
MS _A /MS _R	1,03 a	1,12 a	1,70 a	2,70 A	2,17 A	2,29 A	*	ns	ns	
Canopeo	49,1 ab	51,9 b	36,0 a	40,1 B	50,3 B	22,4 A	ns	ns	ns	
TC	56,5 b	59,8 b	35,9 a	34,2 B	41,4 B	18,8 A	***	**	*	
EUA	2,66 b	2,81 b	1,7 a	3,66 B	4,48 B	2,05 A	**	**	ns	
MS _{TAC}	2671 a	4663 b	2303 a	2016 A	3283 B	1573 A	ns	ns	ns	

MS, materia seca (kg MS ha⁻¹). MS_{TAC} , materia seca total acumulada. TC, tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ día⁻¹). EUA, eficiencia del uso del agua (kg MS ha⁻¹ mm⁻¹). CE1,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹. CE1,5, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹. CE2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. Letras diferentes minúsculas significan diferencias significativas (p<0,05) en la estación primavera. Letras diferentes mayúsculas significan diferencias significativas (p<0,05) en la estación invierno. (*), (**), (***) y ns indican efectos significativos al 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo respectivamente.

El suelo franco arenoso, registró diferencias significativas al comparar las estaciones del año con valores superiores en el invierno respecto a los meses de primavera (Tabla 9) con incrementos del 29% en la MS_T , del 37% en la MS_A , del 47% en la EUA y del 29% en la TC . No obstante, los resultados encontrados evidencian menores rendimientos obtenidos en la primavera respecto al invierno, posiblemente como resultado de la temperatura, ya que es un factor determinante de la actividad metabólica, el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Lenschak *et al.*, 2019). Según la bibliografía la temperatura óptima para el crecimiento de la lechuga es de 18°C, con un rango que oscila entre 7 y 24°C (Lang *et al.*, 2013), mientras que, el valor óptimo de la temperatura nocturna es de 10 a 15°C y el de la temperatura diurna es de 15 a 20°C (Lenschak *et al.*, 2019).

Si bien el sombreado favorece el cultivo de lechuga en invernadero en las épocas cálidas, debido a que permite una rápida implantación con menores requerimientos de reposición y una mayor producción a través de pesos por planta más elevados y menores porcentajes de descarte, las altas temperaturas en la primavera y el verano dificultan la producción de lechuga en invernadero en toda la región litoral Norte de la Provincia de Buenos Aires (Francescangeli y Mitidieri 2006) y en La Pampa (Grasso *et al.*, 2006). Además, en períodos de escasa iluminación la lechuga forma una cabeza poco compacta si el régimen térmico es superior a los 20°C, mientras que, con el mismo déficit de luz y temperaturas bajas, el acogollado se ve favorecido (Carassay, 2022).

La duración media del ciclo de lechuga es de 150 días para ciclos invernales y de 120 días para el resto de los ciclos (Maroto Borrego, 2000). Para cultivos a campo en Argentina, se han registrado ensayos con variedades de hoja suelta donde la duración media es de 67 días para un ciclo primaveral y de 112 días para un ciclo invernal (de Grazia *et al.*, 2001). En este estudio, los ciclos desarrollados en meses fríos fueron de menor duración respecto a los ciclos desarrollados en los meses cálidos. Tales resultados, coinciden con lo reportado por Francescangeli y Mitidieri (2006), quienes determinaron que en otoño e invierno la cosecha se realiza a los 45 días en variedades de hoja con rendimientos de entre 3,000 y 4,000 g m⁻¹ y entre los 70 y 80 días en las de cabezas con rendimientos de entre 5,000 a 6,000 g m⁻¹; mientras que en primavera y verano los ciclos tienen entre 10 y 15 días menos y los rendimientos son menores.

Tabla 9: Efecto de la calidad de agua en el riego para los tratamientos con suelo de textura franco arenoso, en cada estación del año y sobre la MS_T , MS_A , EUA, TC, % de Canopeo y Relación MS_A/MS_R .

FRANCO ARENOSO			Primavera				Invierno				Efecto Estación				
MS, kg ha ⁻¹	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0
Total	869	b	785	ab	398	a	1344	B	118	B	433	A	*	ns	ns
Aérea	447	b	352	ab	178	a	682	B	628	B	233	A	ns	ns	ns
Raíz	423	a	433	a	220	a	663	B	489	B	199	A	ns	ns	ns
MS _A /MS _R	1,30	a	1,11	a	967	a	1,25	A	1,68	B	1,42	A	ns	ns	ns
Canopeo	32,9	b	29,2	ab	29,2	a	32,4	B	26,1	B	7,04	A	ns	ns	ns
TC	38,0	b	33,2	ab	17,7	a	35,1	B	28,1	B	10,3	A	ns	ns	ns
EUA	1,78	b	1,58	ab	0,82	a	3,72	B	3,04	B	1,15	A	*	*	ns
MS _{TAC}	2917	b	2581	b	907	a	2181	B	2009	B	702	A	ns	ns	ns

MS , materia seca. MS_{TAC} , materia seca total acumulada (kg MS ha^{-1}). TC, tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$). EUA, eficiencia del uso del agua ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). CE1,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. CE1,5, calidad de agua con conductividad eléctrica de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$. CE2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Letras diferentes minúsculas significan diferencias significativas ($p < 0,05$) en la estación primavera. Letras diferentes mayúsculas significan diferencias significativas ($p < 0,05$) en la estación invierno. (*), (**), (***) y ns indican efectos significativos al 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo respectivamente.

Los diferentes consumos de agua según el ciclo analizado se explicarían por la influencia de la demanda evaporante de la atmósfera, siendo ésta superior en condiciones de mayores temperaturas y radiación (ciclo primaveral). En el ciclo invernal, la E_{Tr} fue 44% inferior a la E_{Tp} observada en primavera. Mientras que, los valores observados en la E_{Tr} en los tratamientos CCV fueron 20% menor en invierno respecto a la E_{Tp} y 47% menor en primavera respecto a la E_{Tp} . En los tratamientos SCV, se diferenciò la ET según la textura, en el suelo arenoso los valores de E_{Tr} fueron similar en los dos primeros ciclos. En tanto que, el tercer y cuarto ciclo el suelo franco arenoso fue un 16% mayor respecto al suelo arenoso. Por lo cual, se observó un exceso de agua en los tratamientos SC del 31% en el primer ciclo, del 36% en el segundo ciclo y del 11% en el tercer y cuarto ciclos respecto a los tratamientos CCV (Tabla 10). En este estudio se observó que el efecto del uso de cobertura vegetal no se refleja en los registros de la EV_p . Numerosos autores citan consumos de agua entre 52 mm y 125 mm dependiendo de la época del año en que se produzca (Adrover *et al.*, 2001; Ortega *et al.*, 1999; Gallardo *et al.*, 1996). Estos mismos autores establecieron que al variar el suministro de agua no se modifica significativamente la EUA.

Tabla 10: Evapotranspiración potencial y real de cada ciclo analizado.

Ciclo	ETp (mm)	ETr (mm)		
		CCV	SCV	
			Arenoso	Franco arenoso
1	63	46	67	67
2	131	61	96	98
3	44	40	45	55
4	113	55	62	72

ETp, Evapotranspiración potencial. ETr, evapotranspiración real. CCV, tratamientos con cobertura vegetal. SCV, tratamientos sin cobertura vegetal.

Respecto al efecto del uso de agua con alta salinidad se observó en ambos suelos una disminución en los valores de MS_T , MS_A , MS_R y el % de canopeo, con diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al riego con agua de baja e intermedia calidad con valores de 60% en el suelo arenoso y del 38% en el suelo franco arenoso. Similar comportamiento presentó las variables EUA y TC en ambos suelos donde el uso de agua de CE de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ generó disminuciones del 60% en el suelo arenoso y del 37% en el suelo franco arenoso.

CONCLUSIONES PARCIALES

Se confirmó la hipótesis. La estación modificó la EUA y la TC que hicieron que la producción fuera diferente, aunque el efecto fue más marcado en el suelo franco arenoso.

La estación del año modificó la EUA y la TC con consecuencias directas sobre la producción del cultivo. Los promedios de rendimiento fueron mayores en el suelo franco arenoso, con mayor producción total y aérea, más EUA y mayor TC en invierno.

El uso de agua salina generó un impacto negativo sobre los valores de MS_T , MS_A y MS_R en ambos suelos.

- ii. Influencia del riego con agua salina sobre el
rendimiento del cultivo de lechuga

INTRODUCCIÓN

Actualmente, más del 74% de los suelos dedicados a la agricultura a nivel mundial muestran problemas de salinidad (Argentel *et al.*, 2017). La calidad del agua se evalúa en función de los problemas que potencialmente puede causar su uso sobre los suelos (Pizarro Cabello, 1990; Prieto y Angueira, 1996; Alconada y Minghinelli, 1998). Muguiro (2014) y Pla Sentis (2014), definen dos parámetros que determinan la aptitud para el desarrollo de los cultivos, el pH del suelo y la alcalinidad del agua. El cultivo de lechuga es uno de los vegetales de hojas que más se consumen frescos (Siliquini *et al.*, 2017), requiere de suelos ligeros, con buenos contenidos de materia orgánica, buena capacidad de retención de agua, buen drenaje y estructura, para permitir el óptimo desarrollo radicular, y el pH ideal es de 6,6 a 7,8 (Di Benedetto 2005 y Colazo, 2012). Según Carter (1981) y Grismer *et al.* (2018), la tolerancia a las sales que tiene la lechuga es de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. El rendimiento y la calidad son los factores más afectados por el agua salina (Lang, 2016), sin embargo, el productor pampeano, no utiliza técnicas para mejorar la calidad del agua (Ministerio de Producción LP, 2011).

HIPÓTESIS PARTICULARES

La influencia del riego con agua salina reduce el rendimiento del cultivo de lechuga y esta diferencia será mayor en el suelo de textura arenosa.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Evaluar el efecto de agua con diferentes niveles de sales luego de dos años en el rendimiento de lechuga en dos suelos texturalmente contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este análisis se realizó bajo las mismas condiciones detalladas en materiales y métodos generales (sección 3) y los tratamientos fueron las tres calidades de agua distintas.

Se cuantificó la materia seca: aérea (MS_A), radicular (MS_R) y total (MS_T), el % de canopeo (% de cobertura foliar mediante la aplicación “CANOPEO”) y la Relación parte aérea/raíz (MS_A/MS_R) en cada ciclo. Se determinó la eficiencia del uso del agua de la MS_T (EUA) y la tasa de crecimiento de la MS_T (TC), según las ecuaciones 1 y 3. Además, se analizó el efecto acumulado en cada ciclo de la MS_T , EUA y TC.

En síntesis, en esta parte se analizó el efecto del uso de tres calidades de agua sobre variables de rendimiento del cultivo, teniendo en cuenta el tratamiento C0 (urea) y se evaluó el efecto acumulado de MS luego de los cuatro ciclos consecutivos del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Materia seca total

Se realizó el análisis para cada ciclo en g, en donde se vio una fuerte interacción entre ciclos, posiblemente debido a condiciones ambientales, por lo cual se realizó la corrección de los valores de g a mg mm^{-1} y se analizó cada ciclo según su índice, luego se expresó en kg MS ha^{-1} . Los rendimientos fueron en orden de mayor a menor del ciclo 1^{er}, 3^{er}, 4^{to} y 2^{do}. Esta variabilidad entre ciclos pudo deberse a que el estrés por factores bióticos y abióticos representa un desequilibrio en la homeostasis de la planta (Lemoine *et al.*, 2013). Siendo los factores abióticos que más causan daño en la producción de los cultivos: las temperaturas, sequía y salinidad (Hoang *et al.*, 2016), afectando el crecimiento de las plantas y disminuyendo su productividad, ocasionando pérdidas de hasta un 50% en el rendimiento (Rengasamy, 2010).

En ambos años, las estaciones fueron marcadas, registrándose dentro del invernadero en los meses estivales temperaturas medias de 22,7°C, en tanto que en los meses invernales las temperaturas fueron de 16,1°C. Los ciclos 1 y 3, se desarrollaron en meses fríos mientras que los ciclos 2 y 4 atravesaron meses cálidos, por lo cual se analizó el efecto acumulado en cada ciclo y al finalizar cada ensayo. Se observó que el uso de agua de 2,0 dS m^{-1} , tuvo un efecto adverso sobre la MS_T , con diferencias significativas entre los tratamientos con agua buena e intermedia (1,0 y 1,5 dS m^{-1} respectivamente) respecto al agua de 2,0 dS m^{-1} con valores de 5,92 a 2,91 g m^{-2} (Tabla 11).

Se obtuvieron diferencias significativas entre texturas, con valores de 5,82 g m^{-2} para el suelo arenoso y de 3,96 g m^{-2} para el suelo franco arenoso. El suelo franco arenoso tuvo menor eficiencia en la producción de MS_T respecto al suelo arenoso. Los resultados obtenidos coinciden con los valores umbrales reportados por Mass (1986), para la lechuga, que están en el rango de 1,0 a 1,4 dS m^{-1} , y la pendiente para la disminución del rendimiento, desde 6% hasta 8% por dS m^{-1} .

La lechuga en el suelo arenoso presentó una EUA mayor que en el suelo franco arenoso, con diferencias significativas entre sí ($p < 0,05$) (Tabla 11). La lechuga en el suelo franco arenoso registró una menor velocidad de crecimiento respecto al suelo arenoso. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), entre los tratamientos que fueron regados con agua buena e

intermedia respecto a los tratamientos con agua de mala calidad (Tabla 11). En concordancia a lo hallado por Carranza *et al.* (2009), quienes determinaron que la salinidad presente en los suelos de Marengo ocasiona una reducción en los parámetros de crecimiento en lechuga. Tales resultados, determinan que el suelo franco arenoso posee una menor eficiencia en la producción de MS_T respecto al suelo arenoso.

Tabla 11: Materia seca total acumulada, tasa de crecimiento y eficiencia de uso del agua de la MS_T y acumulada, del cultivo de lechuga en dos suelos de texturas diferentes.

	CE 1,0		CE 1,5		CE 2,0		A		FA		Sal	Tex	Sal x Tex
MS_{TAC}	3,64	b	3,95	b	1,92	a	3,76	B	2,58	A	<0,0001	0,0004	0,4972
TC_{MST}	26	b	27	b	13	a	26	B	18	A	<0,0001	<0,0001	0,2435
TC_{MSTAC}	66	b	72	b	35	a	68	B	47	A	<0,0001	0,0004	0,4973
EUA_{MST}	2,96	b	2,98	b	1,43	a	2,89	B	2,02	A	<0,0001	0,0002	0,2682
EUA_{MSTAC}	7,41	b	7,99	b	3,81	a	7,82	B	5,28	A	0,0001	0,0009	0,4167

MS_{TAC} , materia seca total acumulada ($g\ MS_T\ maceta^{-1}$), TC_{MST} , tasa de crecimiento, $mg\ MS_T\ maceta^{-1}día^{-1}$, TC_{MSTAC} , tasa de crecimiento acumulada, $mg\ MS_T\ maceta^{-1}día^{-1}$. EUA_{MSTAC} , eficiencia de uso del agua acumulada, $mg\ MS_T\ ha^{-1}\ mm^{-1}$. EUA_{MST} , eficiencia del uso del agua, $mg\ MS_T\ ha^{-1}\ mm^{-1}$. CE1,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de $1,0\ dS\ m^{-1}$; CE1,5 calidad de agua con conductividad eléctrica de $1,5\ dS\ m^{-1}$ y CE2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de $2,0\ dS\ m^{-1}$. A, arenoso, FA, franco arenoso. Letras minúsculas diferentes significan diferencias significativas ($p<0,05$) entre calidades de agua. Letras mayúsculas diferentes significan diferencias significativas ($p<0,05$) entre texturas.

Eficiencia del uso del agua y Tasas de crecimiento

Los valores obtenidos para los suelos A fueron de $3,48$ a $2,40\ mg\ mm^{-1}$, mientras que para los suelos FA fueron inferiores, en un rango de $2,55$ a $1,45\ mg\ mm^{-1}$. En los tratamientos regados con agua con CE de $2,0\ dS\ m^{-1}$, se comprobó un efecto adverso por el uso de agua en los 4 ciclos, con diferencias significativas ($p<0,05$) respecto a los demás tratamientos. La lechuga en el suelo A presentó una EUA mayor que en el suelo FA, con diferencias significativas entre sí ($p<0,05$) (Tabla 10). La lechuga en el suelo FA registró una menor velocidad de crecimiento respecto al suelo A.

Materia seca aérea, radicular y Relación parte aérea/raíz

Se analizó el efecto acumulado de la MS_A en la lechuga y se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos con agua de diferente calidad, siendo menor la MS_A en los tratamientos regados con agua de $2,0\ dS\ m^{-1}$. Se obtuvieron valores promedios en

ambos suelos de 3,22 g (1,5 dS m⁻¹) y 1,62 g (2,0 dS m⁻¹) (Tabla 12). Los valores obtenidos fueron de 3,31 g y 2,02 g para el suelo arenoso y franco arenoso respectivamente, la calidad del agua tuvo mayor efecto adverso en el suelo franco arenoso en comparación con el suelo arenoso (Tabla 12). Además, se encontró un porcentaje de pérdida de la MS_A en los tratamientos con agua de mala calidad del 51% respecto al testigo. Al igual que Carassay *et al.* (2013), quienes han observado disminución de hasta 60% de los rendimientos en lechuga a causa del riego con agua salina en La Pampa.

En cuanto a la materia seca de raíces (MS_R), se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos que fueron regados con agua de mala calidad respecto a los demás tratamientos, tanto en el suelo de textura arenosa como franco arenoso (Tabla 13). Según Jung y McCouch (2013), el estrés por salinidad disminuye la división celular epidérmica de la raíz y la tasa de alargamiento, reduciendo el crecimiento de raíces primarias e inhibiendo la iniciación lateral. Las raíces presentan halotropismo negativo, es decir crecen lejos de la sal. Esta respuesta de crecimiento asimétrica se inicia por un gradiente positivo de auxinas, el cual se redistribuye activamente al lado de la raíz frente a la sal (Galvan Ampudia *et al.*, 2013; Rogers y Benfey, 2015). Por lo tanto, los sistemas radiculares son clave para mejorar la tolerancia a las sales, ya que incrementan la absorción del agua y nutrientes, y limitan la adquisición de sales (Jung y McCouch, 2013).

Tabla 12: Rendimiento de la materia seca aérea, EUA y TC y materia seca de raíces, en función de la calidad de agua de riego.

	CE1,0	CE1,5	CE2,0
MS, g ha ⁻¹			
Aérea	3,16 ^b	3,22 ^b	1,62 ^a
Raíz	2,67 ^b	2,71 ^b	1,30 ^a
EUA, mg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹			
Aérea	6,44 ^b	6,50 ^b	3,16 ^a
Raíz	5,38 ^b	5,41 ^b	2,56 ^a
TC, mg MS ha ⁻¹ día ⁻¹			
Aérea	86,92 ^b	85,00 ^b	44,76 ^a
Raíz	76,82 ^b	77,37 ^b	38,05 ^a

Se vio que, en el suelo franco arenoso, la calidad del agua tuvo mayor efecto adverso en comparación con el suelo arenoso, con diferencias significativas en todas las variables, excepto en la TC de la biomasa de raíces, en donde no se diferenciaron estadísticamente las texturas (Tabla 13). Por lo cual, suelos de distinta textura se comportan distinto.

Tabla 13: Materia seca aérea, materia seca de raíces, eficiencia de uso del agua y la tasa de crecimiento para cada textura de suelo evaluado.

	ARENOSO	FRANCO ARENOSO
MS, g ha ⁻¹		
Aéreo	3,31 ^b	2,02 ^a
Raíz	2,50 ^b	1,94 ^a
EUA, mg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹		
Aéreo	6,64 ^b	4,1 ^a
Raíz	4,94 ^a	3,97 ^a
TC, mg MS ha ⁻¹ día ⁻¹		
Aéreo	90,64 ^b	53,81 ^a
Raíz	73,70 ^b	54,46 ^a

En cuanto al área foliar, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos con agua 1,0 y 1,5 (154 y 158% respectivamente) respecto a los tratamientos regados con 2,0 dS m⁻¹ (76%), siendo el % de Canopeo menor para los tratamientos utilizando agua de mala calidad, tanto en el suelo A como en el suelo FA. Similares resultados fueron reportados por Zhilong Bie *et al.* (2004), quienes determinaron que el área foliar, peso seco, longitud de hoja, ancho de la hoja, tasa fotosintética y conductancia estomática de la lechuga disminuyeron con crecientes concentraciones de sulfato y bicarbonato de sodio.

La relación MS_A/MS_R no presentó diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los suelos analizados con valores de 1,36 para el suelo A y 1,16 para el suelo FA, por lo cual no hubo diferencias en el desarrollo entre la parte aérea y la biomasa de raíces por efecto del uso de agua de diferente calidad, ni tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los suelos de texturas diferentes.

Porcentaje de canopeo

En el suelo A, el valor máximo se obtuvo con los tratamientos con agua de intermedia calidad (51,8%), mientras que el mínimo fue (29,2%) con los tratamientos de baja calidad (2 dS m⁻¹). En cambio, en el suelo FA el valor máximo se obtuvo con el agua de mejor calidad (32,6%) y el valor mínimo (10,3%) para el agua de 2,0 dS m⁻¹. En ambos suelos se encontraron diferencias

significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos con agua de 1,0 y 1,5 dS m⁻¹ respecto a los tratamientos regados con 2,0 dS m⁻¹.

Efecto acumulado en el suelo

Al finalizar los 4 ciclos, se observó una disminución del pH en el suelo A con valores de 7,71 a 6,94 con agua de 1,0 y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente, sin diferencias entre tratamientos. En el suelo FA se encontró un aumento del pH por el uso de agua salina, con valores de 5,82 a 6,12 con agua de 1,0 y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. La CE del suelo A y FA se incrementó a causa del riego con agua de mala calidad. En cuanto a la CE del agua lixiviada, en el suelo A se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos de 1,0 y 1,5 dS m⁻¹ respecto al agua salina, con valores de 5,17 y 8,17 para el agua de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. En el suelo FA, los valores fueron de 4,37 y 8,16 para el agua de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Muguiro (2014), comprobó que al incrementarse la CEa y CE se reduce el potencial de rendimiento del cultivo de lechuga. Según Balcaza (2000), en los cultivos bajo cubierta es común que aparezcan altos niveles de sales a causa del riego que, aunque originalmente no sean salinas, con la falta de lavado, generan acumulación de sales en el suelo, y el problema se agrave cuando las aguas son de 2,0 dS m⁻¹. Andriulo *et al.*, (1998) estudió el riego durante 11 años con aguas bicarbonatadas sódicas (CE 1 dS m⁻¹ y RAS 10,6) y determinó en un Argiudol típico de Pergamino que se duplicó la CE, el PSI se sextuplicó y el pH del suelo aumentó en una unidad.

CONCLUSIONES PARCIALES

Se confirmó la hipótesis. El efecto negativo del agua salina fue mayor en el suelo franco arenoso. La EUA y la TC fueron mayores en el suelo arenoso. El efecto acumulado del uso de agua salina generó salinización de ambos suelos.

La conductividad eléctrica del suelo arenoso aumentó cuando se regó con agua salina.

Los tratamientos con agua de 2,0 dS m⁻¹ tuvieron una reducción del 50% sobre los parámetros en los 4 ciclos y en ambos suelos evaluados.

El suelo A presentó mayor EUA y mayor velocidad de crecimiento que el suelo FA.

- iii. Influencia de la fertilización con abono orgánico sobre el rendimiento, eficiencia de uso del agua y tasa de crecimiento del cultivo de lechuga

INTRODUCCIÓN

La producción de cultivos de hoja crece cada año en la región dada la cercanía a los centros de consumo y a la incorporación de innovaciones tecnológicas, asociadas especialmente al proceso de producción (Pineda Abella, 2014). La producción intensiva implica el uso constante del suelo a través de la sucesión continua de cultivos, el riego con agua de diferente calidad y prácticas culturales inadecuadas, como el manejo incorrecto de la fertilización. La MO es el principal indicador y el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Galantini y Rosell 2006; Duval *et al.*, 2013). Una forma de abordar estos problemas es mediante la aplicación de residuos orgánicos y la reutilización de los mismos suponen un doble efecto para el ambiente; ya que disminuye la presencia de éstos en el medio y al mismo tiempo su aplicación al suelo mejora las condiciones edáficas (Abassi y Khizar, 2012).

HIPÓTESIS PARTICULAR

El abono orgánico atenuará los efectos negativos de la salinidad en lechuga al incrementar la eficiencia en el uso del agua, la tasa de crecimiento y la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, con efectos diferentes sobre la parte aérea o radical del cultivo y la textura del suelo.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Evaluar el efecto de la aplicación de abono orgánico en la tasa de crecimiento, rendimiento y eficiencia en el uso del agua en función de diferentes combinaciones de calidad de agua y textura de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este análisis los suelos utilizados son los mismos descriptos en la sección 3.2. Se regó con agua de dos calidades diferentes con conductividad eléctrica de 1,0 y 2,0 dS m⁻¹, el detalle de la caracterización química del agua se observa en la Tabla 6, sección 3. Se aplicó tres combinaciones diferentes de abono orgánico y urea para igualar una dosis de 100 kg N ha⁻¹ (Tabla 4).

En este caso en particular se tomaron muestras compuestas de los suelos a evaluar y se realizó en cada uno el análisis de los siguientes parámetros: MO, fósforo, pH y CE, (Tabla 2), CIC,

caciones de intercambio (Ca, Mg, K y Na), (Tabla 3). Luego se tamizó el suelo a menos de 4 mm y se rellenaron las macetas para dar inicio al estudio.

Se analizaron diversos parámetros relacionados al rendimiento del cultivo de lechuga, entre ellos se cuantificó: materia seca total (MS_T), materia seca aérea (MS_A), materia seca de raíces (MS_R), y se calculó la relación MS_A/MS_R . Además, se analizó la eficiencia de uso del agua (EUA) y la tasa de crecimiento (TC). El diseño y análisis estadístico se realizó tal como se describe en la sección 3.8 y 3.9.

En síntesis, en este análisis los tratamientos fueron: dos calidades de agua, una considerada de baja salinidad ($CE\ 1,0\ dS\ m^{-1}$) y otra de mayor salinidad ($2,0\ dS\ m^{-1}$); y la aplicación de tres dosis diferentes de fertilización (C_0 , C_2 y C_4), en dos suelos de texturas contrastantes (arenoso y franco arenoso).

RESULTADOS Y DISCUSION

Con relación al análisis de los parámetros de rendimiento, se encontró una interacción significativa entre los suelos, motivo por el cual fueron analizados por separado.

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 C_4 , produjo un incremento significativo en la MS_T , MS_A y la MS_R con valores máximos de $1504\ kg\ ha^{-1}$ de MS_T ; $823\ kg\ ha^{-1}$ de MS_A y $681\ kg\ ha^{-1}$ de MS_R cuando se usó agua con CE de $1,0\ dS\ m^{-1}$, 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 $2,0\ dS\ m^{-1}$ (Tabla 14). 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 16). 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.*, 2022). 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 (Ecuación 4).

$$RR(\%) = 100 \times \frac{MS_{CE2,0}}{MS_{CE1,0}} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Dónde: RR, rendimiento relativo (%); $MS_{CE2,0}$, materia seca en $kg\ ha^{-1}$ regados con agua de $2,0\ dS\ m^{-1}$; $MS_{CE1,0}$, materia seca en $kg\ ha^{-1}$ regados con agua de $1,0\ dS\ m^{-1}$.

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 3). 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 con 0, 4000, 8000 y 12000 kg ha⁻¹ 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). En la variable MS_T , se alcanzaron valores del 80 y 70% de rendimiento relativo en cada tratamiento C4 en el suelo arenoso y franco arenoso (Figura 3). Se observó mayor susceptibilidad al agua salina en el suelo de textura franco arenoso y se vio que con la aplicación de abono (C4) se mitigó el efecto adverso de la salinidad. En el suelo arenoso, con los tratamientos C2 se mejoró ligeramente la resistencia al efecto del agua salina respecto a C0 y C4. Para la variable MS_A , se registró una fuerte disminución de la MS_A por el uso de agua salina, con valores del 26 al 39% de reducción del rendimiento (Figura 3).

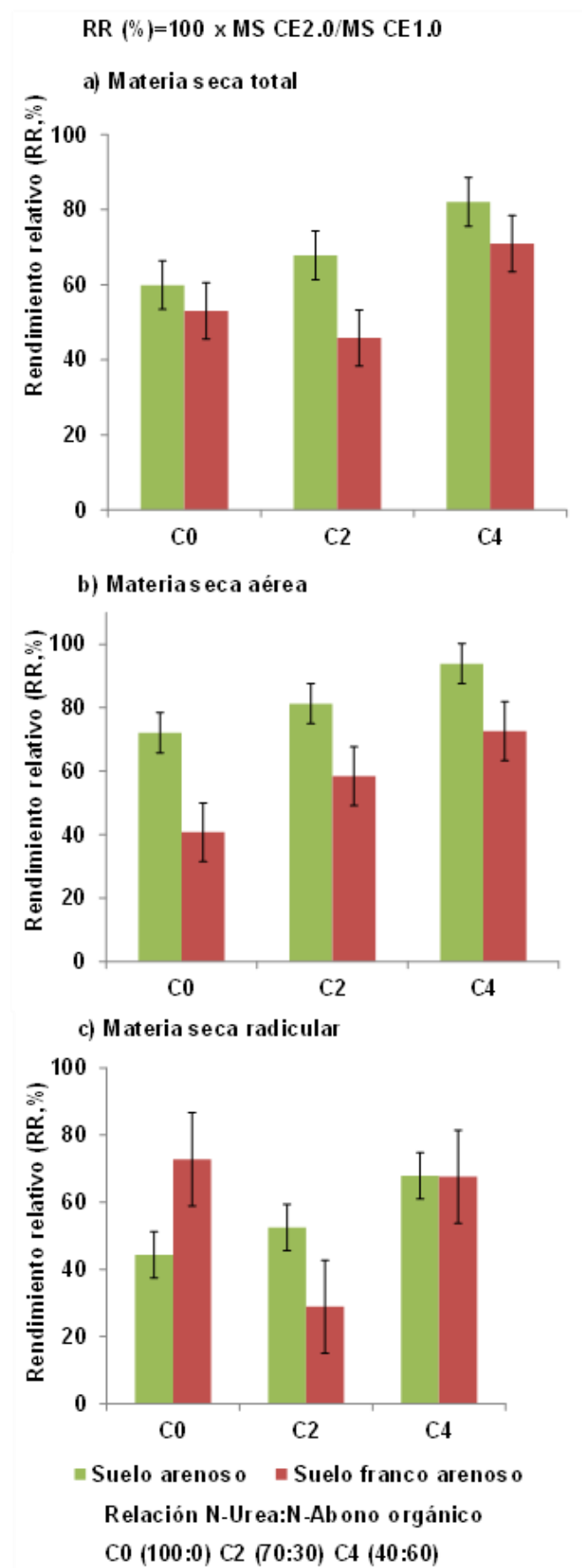


Figura 3: Rendimiento relativo (RR %) por efecto del agua para cada tratamiento de abono y de suelo.

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 MS_T , la MS_A y la 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 MS_T , MS_A y la MS_R con valores máximos de 1385 kg ha⁻¹ de MS_T ; 796 kg ha⁻¹ de MS_A y 589 kg ha⁻¹ de MS_R cuando se usó agua con CE de 1,0 dS m⁻¹, con una caída del 54% en la MS_T , del 41% en la MS_A y del 71% en la MS_R con el uso de agua de 2,0 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 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 14). 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. 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 que reduce la 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 MS_A/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 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 14).

Al comparar el efecto en ambos suelos respecto al rendimiento relativo entre los tratamientos con CE 1,0 dS m⁻¹ con relación a los tratamientos con CE 2,0 dS m⁻¹, en el suelo franco arenoso se observó un comportamiento diferente entre las variables MS_T , MS_A y MS_R , ya que el valor máximo obtenido fue del 71% en la MS_T y 73% en la MS_A en el tratamiento C4 y del 73% en la MS_R en el tratamiento C0 (Figura 3). 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 fue el mejor tratamiento, 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 . 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). Otros estudios mostraron que los tratamientos con vermicompost mejoraron los macros y micros nutrientes de la planta de lechuga en condiciones de estrés salino en condiciones de invernadero (Demir *et al.*, 2020).

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).

Tabla 14: Parámetros de rendimiento en un suelo arenoso y franco arenoso al cuarto ciclo de lechuga, con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

	C0			C2			C4		
ARENOSO	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA
MS _T (kg ha ⁻¹)	1331 a	798 A ***		1434 a	973 A ***		1504 b	1235 B **	
MS _A (kg ha ⁻¹)	749 a	540 A **		766 ab	623 A **		823 b	773 B *	
MS _R (kg ha ⁻¹)	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 ⁻¹)	991 a	526 A ***		1385 b	635 B ***		1134 b	805 C ns	
MS _A (kg ha ⁻¹)	609 a	248 A ***		796 b	465 B ***		765 b	556 C ns	
MS _R (kg ha ⁻¹)	382 a	278 A ***		589 a	170 AB ***		370 a	250 B ns	
MS _A /MS _R	2,00 a	0,80 A ***		1,30 b	2,80 B ***		2,70 ab	2,30 C 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⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en kg ha⁻¹ de Urea:Abono orgánico C0 (100:0), C2 (70:30) y C4 (40:60). 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.

Respecto a la eficiencia de uso del agua (EUA) y la tasa de crecimiento (TC) mostraron comportamientos semejantes entre tratamientos (Tabla 15). En el suelo arenoso, se observó un efecto negativo significativo del agua salina en la EUA y la TC cuando no se utilizó abono orgánico. El efecto fue de intensidad intermedia en el suelo con abono orgánico C2 y levemente significativo en el suelo con abono orgánico C4. 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 15). En cambio, en el suelo franco arenoso, se encontró un efecto altamente significativo y negativo del agua salina en la EUA y la TC cuando no se utilizó abono orgánico. Sin embargo, cuando se aplicó abono orgánico C4, el efecto del agua salina no fue significativo.

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⁻¹ respectivamente (Tabla 15). Tanto la EUA como la TC impactan sobre la productividad del cultivo. Es decir, el efecto negativo del agua salina sobre la EUA implica una menor producción de materia seca por unidad de agua aplicada, mientras que la reducción en la TC explica una reducción de producción de materia seca por día.

Tabla 15: Eficiencia de uso del agua y tasa de crecimiento en un suelo arenoso y franco arenoso luego de cuatro ciclos de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

	C0			C2			C4		
	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA
ARENOSO									
EUA	2,38 a	1,43 A ***		2,56 a	1,74 A **		2,69 b	2,21 B **	
TC	53,2 a	31,9 A ***		57,4 a	38,94 A ***		60,2 b	49,4 B *	
FRANCO ARENOSO									
EUA	1,77 a	0,94 A ***		2,47 b	1,14 B ***		2,03 b	1,44 C ns	
TC	39,6 a	21,03 A ***		55,4 b	25,4 B ***		45,4 b	32,2 C ns	

EUA, eficiencia de uso del agua ($\text{mg MS maceta}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); TC, tasa de crecimiento ($\text{mg MS maceta}^{-1} \text{ día}^{-1}$). 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 kg ha^{-1} de Urea:Abono orgánico C0 (100:0,0), C2 (70:30) y C4 (40:60). 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.

CONCLUSIONES PARCIALES

Se confirmó la hipótesis. El efecto del uso de abono orgánico es diferente según la textura del suelo. El uso de abono orgánico atenúa los efectos negativos del riego con agua salina en lechuga en el suelo franco arenoso.

La eficiencia de uso del agua y la tasa de crecimiento se ven afectadas negativamente por el uso del recurso hídrico en ambos suelos. La aplicación de abono orgánico incrementa ambas variables en el suelo de textura franco arenosa.

El abono orgánico redujo significativamente el efecto salino en el suelo de textura franco arenosa, sin embargo, se necesitan más investigaciones para optimizar el manejo en diferentes contextos.

iv. Influencia de la calidad del agua y del abono sobre las
fracciones orgánicas en suelos de La Pampa

INTRODUCCIÓN

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.*, 2018). 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). Sin embargo, es escasa la información local sobre su efecto en la disponibilidad de N en producciones hortícolas bajo cubierta.

HIPÓTESIS PARTICULAR

Las fracciones de carbono orgánico total del suelo se ven significativamente afectadas por la calidad del agua de riego y la aplicación de abono orgánico.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Analizar cómo el riego con agua de diferente calidad y la aplicación de abono orgánico modifican las fracciones de COT en dos suelos característicos del Centro de La Pampa.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el tratamiento principal (I): se regó con dos calidades de agua con conductividad eléctrica de 1,0 y de 2,0 dS m⁻¹. En el tratamiento secundario (II): se aplicó una dosis de 100 kg N ha⁻¹ usando tres combinaciones de las fuentes abono orgánico y urea. Las dosis fueron con diferente proporción expresada en gramos de Urea:Abono orgánico: C0 (100:0), C2 (70:30) y C4 (40:60). 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

En este análisis en particular se tomaron muestras compuestas de dos suelos a evaluar (Tabla 1) y se realizaron las siguientes determinaciones químicas: carbono orgánico total (COT) por analizador de Carbono Elemental marca LECO (C-832); pH y CE se determinaron por el método potenciométrico en extracto con una relación suelo/agua 1:2,5; fósforo extractable (Pe) (Bray & 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), (Ecuación 5).

$$IMO = MO / (L + A) * 100 \quad \text{[Ecuación 5]}$$

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

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 & 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. 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 Carbono Elemental marca LECO (C-832). Se calcularon los siguientes índices al finalizar el cuarto ciclo de lechuga y posterior a la cosecha:

Índice 1: 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).

Índice 2: COPg/COPf indicaría cuánto del carbono orgánico particulado está transformado

Índice 3: 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.

Dosis de abono orgánico

Las dosis de abono usadas fueron las mismas citadas en la Tabla 4. El diseño experimental y el análisis estadístico utilizado fue el mismo mencionado en materiales y métodos generales.

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.

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 comprobó modificaciones significativas 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 pérdidas 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 16).

Tabla 16: Fracciones orgánicas en un suelo arenoso y franco arenoso al finalizar el cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

	C0			C2			C4		
ARENOSO	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA
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
FRANCO ARENOSO									
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⁻¹ y 2,0 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.

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 17). 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 17: 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.

	C0			C2			C4		
ARENOSO	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⁻¹ y 2,0 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: 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⁻¹.

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⁻¹ (Tabla 16). 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 COP_{g+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 COP_{g+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 17). 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 COP_g, un aumento en la relación COP_g/COP_f 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 influyó 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 PARCIALES

Se confirmó la hipótesis. El uso de agua salina y el aporte de abono orgánico influyen sobre las fracciones orgánicas del suelo.

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, lo que indicaría la reducción de la velocidad de descomposición.

En el suelo de textura fina el efecto negativo del uso de agua salina se fue perdiendo en el COT, y COPg 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.

- v. Influencia del riego con agua salina y la aplicación de abono orgánico sobre el contenido de sales en el suelo

INTRODUCCIÓN

El uso de agua de baja calidad (pH y sales) para riego en muchas regiones áridas y semiáridas ha generado cambios significativos sobre propiedades edáficas físicas y químicas, e impactos negativos sobre la productividad de los cultivos (Cirelli *et al.*, 2009). En la provincia de La Pampa, una de las hortalizas de hoja más cultivada en forma protegida es la lechuga, la cual posee una tolerancia a las sales de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ (Carter, 1981). En condiciones de invernáculo, el crecimiento del cultivo se ve afectado por el incremento de sales en el perfil del suelo y el deterioro por el riego e inexistencia de lavado por agua de lluvia. Entre las problemáticas habituales se encuentran las derivadas de sodicidad, salinidad, pérdida de materia orgánica y fertilidad física (Andriulo & Cardone, 1998). La mayoría de las aguas de riego contienen bases intercambiables como el sodio (Na^+), que provoca la separación de los coloides del suelo cuando interacciona y desplaza los cationes divalentes presentes calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), reduciendo así, el acceso y flujo de agua y oxígeno en el perfil del suelo. La degradación mencionada se ve reflejada en la dispersión de la materia orgánica y predominio de un medio alcalino. En estos sistemas intensivos de producción, se observa una disminución importante de los rendimientos en lechuga, que puede llegar al 60%, a causa de la salinidad en los suelos originada por el riego con agua salina (Carassay *et al.*, 2013). En general, en La Pampa, el 95% del riego se hace por goteo, el agua utilizada proviene de perforaciones las cuales presentan valores mayores a 2000 mg L^{-1} de residuos sólidos totales (Roberto *et al.*, 2008), tienen valores de pH entre 8 a 8,5 y conductividades eléctricas (CE) de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Lang *et al.*, 2013). Es por esto que, resulta fundamental para el uso sustentable de los recursos suelo y agua, conocer la calidad del agua a utilizar, de manera de mantener y preservar la calidad del suelo sin afectar la producción.

HIPÓTESIS PARTICULAR

El uso de agua salina incrementará la concentración de sales solubles en el suelo, afectando negativamente la disponibilidad de nutrientes y reduciendo el rendimiento de lechuga.

El uso de abono orgánico incrementará la retención de nutrientes y agua y el crecimiento de la lechuga.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Cuantificar el efecto del uso de distintas calidades de agua de riego y la aplicación de diferentes concentraciones de abono orgánico, sobre las propiedades químicas del suelo en dos suelos característicos del Centro de La Pampa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron dos suelos de texturas contrastantes descriptos en la sección 3.2: textura (Tabla 1) y caracterización química (Tabla 2). Se analizó el riego con dos calidades de agua con CE de 1,0 y 2,0 dS m⁻¹, la caracterización se observa en la Tabla 5. Se aplicó una dosis de 100 kg ha⁻¹ usando tres combinaciones de las fuentes UREA y Abono orgánico C0 (100:0), C2 (70:30) y C4 (40:60). Los detalles de las dosis se encuentran en la Tabla 4.

Se evaluó el rendimiento del cultivo de lechuga, durante 4 ciclos consecutivos (2020 y 2021). El diseño estadístico se realizó según el detalle en la sección 3.8.

En este estudio en particular, las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron (2 mm), para la realización de las diferentes determinaciones. Se determinó el pH, CE, carbonatos (CO₃²⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻) y carbonato de calcio (CaCO₃⁼). La valoración de la muestra fue con ácido sulfúrico usando anaranjado de metilo como indicador para el punto final de los bicarbonatos. Se determinó el contenido de cloruros (Cl⁻) por el método argentométrico, en solución ligeramente alcalina (ajustando el pH con hidróxido de sodio), utilizando cromato de potasio como indicador del punto final de la titulación con nitrato de plata. El azufre del sulfato (S-SO₄²⁻) se determinó usando (Ca (H₂PO₄)₂ H₂O) como extractante (Anderson *et al.*, 1992) con posterior determinación del S en un espectrómetro de emisión atómica por plasma (ICP). Se determinó nitrógeno de nitrato (N-NO₃⁻), mediante la destilación y titulación por el método de Bremner. Los cationes de intercambio Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺, se determinaron sobre una suspensión suelo y agua en una relación 1:2,5 en los extractos de saturación y se determinaron por espectrometría de emisión por plasma.

Se calculó el carbonato de sodio residual, el cual indica cuanto sodio se está incorporando en el sistema, la sodicidad, la cual se expresa como la concentración relativa de sodio comparada con el calcio y el magnesio, y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (Ecuaciones 6, 7 y 8):

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Dónde: CSR, carbonato de sodio residual. CO_3^{2-} , carbonato (meq L⁻¹). HCO_3^- , bicarbonato (meq L⁻¹). Ca^{2+} , Concentración de calcio en el agua (meq L⁻¹) y Mg^{2+} , Concentración de magnesio en el agua (meq L⁻¹).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})^2}} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Dónde: RAS, Relación de adsorción de sodio; Ca^{2+} , Concentración de calcio en el agua (meq L⁻¹) y Mg^{2+} , Concentración de magnesio en el agua (meq L⁻¹) y Na^+ , Concentración de sodio en el agua (meq L⁻¹).

$$PSI = \frac{Na^+}{CIC \cdot 100} \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Dónde: CIC: Capacidad de intercambio catiónico. Na^+ , Concentración de sodio en el agua (meq L⁻¹).

Para el análisis estadístico, se analizó siguiendo lo descrito en la sección 3.9. Además, se calculó la correlación entre la materia seca total acumulada (MS_{TAC}) en los cuatro ciclos del cultivo, expresada en kg ha⁻¹, y las variables de calidad de agua mediante el coeficiente de Pearson con un nivel de significancia del $\alpha \leq 1\%$ y $\alpha \leq 5\%$.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el análisis de las variables relacionadas con la productividad, se observó en el suelo arenoso, una correlación negativa entre MS_{TAC} (kg ha⁻¹) y NO_3^- y una correlación positiva con el pH y la alcalinidad, en todos los casos la correlación fue moderada, con una relación significativa, es decir con una confianza del 95% (Tabla 18). En el suelo franco arenoso, no se vio diferencias significativas por el pH, pero se obtuvo una correlación negativa con las variables: Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , RAS, PSI y CE y además presentó una correlación positiva con los CSR. En todos los casos las correlaciones fueron de moderadas a alta y las relaciones muy significativas con una confianza del 98% (Tabla 18).

Tabla 18: Correlación entre la MS_{TAC} ($kg\ ha^{-1}$) y las variables relacionadas a la calidad del agua del suelo, en un suelo arenoso y franco arenoso.

	ARENOSO		FRANCO ARENOSO	
	Probabilidad	Coefficiente	Probabilidad	Coefficiente
CE	*	-0,40	**	-0,66
pH	*	0,40	ns	0,31
Ca^{2+}	ns	-0,28	**	-0,71
Mg^{+2}	ns	-0,21	ns	-0,53
Na^{+}	ns	-0,33	**	-0,72
Alcalinidad	ns	0,11	ns	0,16
HCO_3^{-}	ns	-0,23	ns	0,23
Cl^{-}	ns	-0,23	**	-0,71
SO_4^{2-}	ns	-0,03	**	-0,73
NO_3^{-}	**	-0,71	**	-0,60
CSR	ns	0,04	**	0,63
RAS	ns	-0,25	**	-0,53
PSI	ns	-0,24	**	-0,53

CE, conductividad eléctrica $dS\ m^{-1}$. pH, potencial Hidrógeno. Ca^{++} , calcio ($meq\ L^{-1}$). Mg^{++} , magnesio ($meq\ L^{-1}$). Na^{+} , sodio ($meq\ L^{-1}$). HCO_3^{-} , bicarbonato ($meq\ L^{-1}$). Cl^{-} , cloruro ($meq\ L^{-1}$). NO_3^{-} , nitrato ($meq\ L^{-1}$). SO_4^{2-} , sulfato ($meq\ L^{-1}$). CSR, carbonato de sodio residual. RAS, relación de absorción de sodio. PSI, porcentaje de sodio intercambiable. Coeficiente de Pearson para cada suelo, diferencias estadísticas al 1% (**), 5% (*) o no significativas (ns).

El estudio realizado después de cuatro ciclos consecutivos del cultivo de lechuga registró una interacción significativa entre los suelos. Hubo presencia de bicarbonatos en ambos suelos, con valores de pH en suelo entre 6,2 y 6,9 (Tabla 19). La CE en el suelo arenoso, presentó un efecto positivo con diferencias significativas, a causa de la aplicación de mayor proporción de abono orgánico entre los tratamientos que recibieron agua de $2,0\ dS\ m^{-1}$, con valores de 0,68; 0,78 y 0,64 en C0, C2 y C4 respectivamente. Mientras que en los tratamientos que recibieron agua de $1,0\ dS\ m^{-1}$, la CE fue similar en todos los tratamientos independientemente de la combinación de abono orgánico utilizada, con valores entre 0,44 y $0,48\ dS\ m^{-1}$ (Tabla 19). En el suelo de textura más fina, se registró diferencias significativas por efecto del agua en los tratamientos C4 respecto a los tratamientos que sólo recibieron UREA (C0) (Tabla 19). En tanto, los valores obtenidos en los tratamientos regados con agua de $2,0\ dS\ m^{-1}$ fueron de 1,64, 1,54 y $1,71\ dS\ m^{-1}$ para

C0, C2 y C4 respectivamente. El valor creciente de CE, podrían deberse a la cantidad de agua de riego y de abono orgánico aportado con alta concentración de sales solubles, que permanecerían en el suelo.

Tabla 19: Parámetros de calidad del agua: pH y CE en el extracto de saturación del suelo, al cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua sobre un suelo arenoso y franco arenoso.

C0				C2				C4			
ARENOSO	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA		
pH	6,9 a	6,5 A *		6,9 a	6,7 A ns		6,8 a	6,7 A ns			
CE	0,44 a	0,68 A ns		0,48 a	0,78 A ns		0,46 a	0,64 B *			
FRANCO ARENOSO											
pH	6,4 a	6,2 A ns		6,3 a	6,4 A ns		6,5 a	6,3 A ns			
CE	0,98 a	1,64 A **		0,94 a	1,54 B *		0,89 a	1,71 B ***			

Calidad de agua con conductividad eléctrica CE1,0 y CE2,0 de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de UREA:Abono orgánico C0 (100:0), C2 (60:40) y C4 (30:70). 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 cuanto al análisis de las sales, el suelo arenoso presentó valores inferiores a los obtenidos en el suelo franco arenoso. El contenido de aniones en el suelo de textura gruesa fue en orden de mayor a menor: Cl⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻ HCO₃⁻ y NO₃⁻, hubo un efecto adverso significativo por el uso de agua salina en el contenido de NO₃⁻ y SO₄²⁻ en el tratamiento C4. Por el uso de agua salina el contenido de Na⁺ aumentó un 63% cuando no se aplicó abono orgánico y en los tratamientos C2 (65%) y C4 (80%). (Tabla 20). Mientras que, en el suelo de textura más fina, el contenido de aniones fue en el orden de mayor a menor: Cl⁻, NO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻ y HCO₃⁻, con un incremento por el uso de agua salina en el contenido de Cl⁻, SO₄²⁻ en los tratamientos C0, C2 y C4. En cuanto al contenido de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ se observó un efecto negativo por el uso de agua salina y se registró un aumento por el uso de abono orgánico en los tratamientos de 2,0 dS m⁻¹. Esta variación puede tener un impacto negativo sobre el crecimiento de las plantas más pronunciado en el suelo arenoso que el del suelo con mayor contenido de arcilla, posiblemente por la alta capacidad de retención de agua de la arcilla, lo que resulta en una dilución del efecto salino. Los valores de alcalinidad fueron similares en ambos suelos, entre 2,34 y 3,40 meq

L⁻¹. En ambos suelos, se observó una disminución del contenido de NO₃⁻, teniendo en cuenta que todos los tratamientos tienen la misma dosis de nitrógeno, aunque de distinto origen, la diferencia posiblemente se deba a que esta medición final de nitratos refleja que el cultivo absorbió mayor proporción de NO₃⁻ del suelo en la medida que producía más MS_T. Además, se observó un incremento de NO₃⁻ por el uso del agua, posiblemente asociado a la disponibilidad de este nutriente en el agua de riego (Tabla 20).

Tabla 20: Niveles de sales al cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua sobre un suelo arenoso y franco arenoso.

	C0			C2			C4		
ARENOSO	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA	CE1,0	CE2,0	EA
Ca ²⁺	0,38 a	0,48 A ns		0,42 a	0,92 A ns		0,42 a	0,44 A ns	
Mg ²⁺	0,32 a	0,44 A ns		0,36 a	0,58 A ns		0,40 a	0,32 A ns	
Na ⁺	3,30 a	5,18 A *		3,76 a	5,76 A ns		4,02 a	4,98 A ns	
Alcalinidad	3,20 b	2,34 A *		2,86 a	2,66 A ns		2,72 a	2,84 A ns	
HCO ₃ ⁻	1,30 a	1,38 B ns		0,90 a	0,76 A ns		0,88 a	0,80 A ns	
Cl ⁻	2,72 a	4,36 A *		3,60 a	4,56 A ns		3,06 a	4,16 A ns	
NO ₃ ⁻	0,44 b	0,84 A ns		0,10 a	0,74 A *		0,04 a	0,20 A *	
SO ₄ ²⁻	1,12 a	1,96 A *		1,48 a	2,30 A ns		1,84 a	3,22 B **	
FRANCO ARENOSO									
Ca ²⁺	1,96 a	2,72 A ns		1,70 a	2,76 B *		1,42 a	2,53 B **	
Mg ²⁺	1,42 a	1,38 A ns		1,08 a	1,40 A ns		1,00 a	1,40 B *	
Na ⁺	6,12 a	9,86 A ***		5,48 a	10,06 B ***		5,70 a	9,88 A **	
Alcalinidad	2,92 ab	2,98 A ns		2,64 a	2,88 A ns		3,44 a	3,16 B ns	
HCO ₃ ⁻	0,86 a	0,84 A ns		0,90 a	0,96 A ns		0,88 a	0,94 A ns	
Cl ⁻	5,64 a	10,48 A **		5,08 a	10,32 B ***		5,20 a	10,64 B **	
NO ₃ ⁻	5,44 a	7,36 B ns		5,14 a	6,16 B ns		2,76 a	3,14 A ns	
SO ₄ ²⁻	2,22 b	4,16 A **		2,06 a	3,58 B **		1,72 a	3,90 B ***	

Ca²⁺, calcio (meq L⁻¹). Mg²⁺, magnesio (meq L⁻¹). Na⁺, sodio (meq L⁻¹). HCO₃⁻, bicarbonato (meq L⁻¹). Cl⁻, cloruro (meq L⁻¹). NO₃⁻, nitrato (meq L⁻¹). SO₄²⁻, sulfato (meq L⁻¹) Calidad de agua con conductividad eléctrica CE1,0 y CE2,0 de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de UREA: Abono orgánico C0 (0,16:0,00), C2 (0,11:1,50) y C4 (0,07:3,00). 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.

CONCLUSIONES PARCIALES

Se confirmó la hipótesis. El efecto del agua salina afectó negativamente el rendimiento del cultivo y es más acentuado en el suelo arenoso.

El uso de agua salina incrementó el contenido de sales en ambos suelos, por presencia de bicarbonatos, siendo mayor el efecto en el suelo franco arenoso.

El uso de abono orgánico atenúa el efecto del agua salina en el suelo arenoso, con disminución de la conductividad eléctrica.

En el suelo arenoso hay cambios significativos positivos en la productividad relacionada con el pH y negativo con la CE.

En el suelo franco arenoso la productividad es afectada negativamente por la CE, el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , RAS y PSI.

En ambos suelos, los NO_3^- remanentes al final del ciclo, tuvieron una relación negativa con la productividad asociada al mayor consumo cuanto más MS_T generó el tratamiento. Se desprende de los resultados la importancia de considerar la textura como eje central por sobre el uso del agua y abono. Futuros estudios en esta línea permitirán entender el balance de sales y su asociación con el manejo de calidad de agua, relaciones de abonos y productividad de los cultivos.

- vi. Efecto combinado del uso de cobertura vegetal y el riego con agua salina sobre el rendimiento de lechuga.

INTRODUCCIÓN

El uso de coberturas vegetales influye en la humedad edáfica al reducir la evaporación y aumentar la disponibilidad de agua para los cultivos, limitando el aumento de la salinidad y sodicidad del suelo, con efectos positivos en la estructura microbiológica, la fertilidad (Zribi *et al.*, 2011; Buyer *et al.*, 2017) y la macrofauna del suelo (Novara *et al.*, 2021; Mihelič *et al.*, 2021; Roarty *et al.*, 2017). Sin embargo, en muchas ocasiones se utiliza cobertura del suelo menor a la establecida por la bibliografía como necesaria para considerarla agricultura de conservación (30%) (López *et al.*, 2015). La cobertura orgánica al descomponerse libera nutrientes que aumentan la fertilidad y la biodiversidad edáfica, reduciendo las fluctuaciones de temperatura y humedad (Zhang *et al.*, 2020). El alto contenido de sales en el agua de riego es una de las principales causas de salinización de los suelos, razón por la cual la irrigación se debe planificar y realizar un balance óptimo de sales en la zona radical (Rodríguez *et al.*, 2020). Asimismo, la cobertura del suelo reduce la salinidad en superficie, incrementa la infiltración y reduce la pérdida de agua del sistema (Álvarez *et al.*, 2023). Esto minimiza la erosión del suelo y mejora su porosidad, contribuyendo así a su salud y estabilidad (Mulumba y Lal, 2008). Por lo cual, el uso de la cobertura implica menor necesidad de aplicar agua al cultivo y contribuye a disminuir la huella hídrica.

HIPÓTESIS PARTICULARES

La cobertura vegetal incrementará la eficiencia en el uso del agua al reducir la pérdida del recurso hídrico y aumentar el rendimiento de la lechuga en suelos regados con agua salina.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Cuantificar el efecto del uso de cobertura vegetal y distintas calidades de agua de riego sobre la eficiencia en el uso del recurso hídrico y el rendimiento del cultivo de lechuga en dos suelos de la región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este análisis se presentan los datos del cuarto ciclo de cultivo, para analizar el efecto acumulado. Los tratamientos fueron calidad del agua de riego, con conductividad eléctrica (CE) de 1,0 dS m⁻¹ considerada baja por ser más adecuada a los cultivos; 1,5 (salinidad intermedia) y 2,0 dS m⁻¹ considerada alta para la zona. Se aplicó una dosis

uniforme de 100 kg N ha^{-1} usando una combinación de urea (40 kg N ha^{-1}) y abono orgánico (60 kg N ha^{-1}) al momento del trasplante. Se seleccionaron dos suelos característicos de la región, tal como se describen en la sección 3.2 de materiales y métodos generales.

En este estudio en particular, a cada maceta se le agregó 150 g (1500 kg ha^{-1}) de materia seca (centeno) como cobertura vegetal (CCV) detalles en 3.5. Los tratamientos sin cobertura (SCV) tuvieron el suelo desnudo.

El día 19 de octubre del 2021 se realizó el trasplante del cuarto ciclo de lechuga, sobre los suelos que habían tenido los mismos tratamientos previos, y se le aplicó una lámina de riego de 560 mm durante el desarrollo del cultivo (25 días). Se analizaron diversos parámetros relacionados a la productividad del cultivo de lechuga, entre ellos se cuantifico: la materia seca total (MS_T), aérea (MS_A) y de raíces (MS_R). Se calculó la relación MS_A/MS_R . Se midió el % de cobertura aérea mediante la aplicación CANOPEO. Además, se analizó la eficiencia de uso del agua (EUA, $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), la cual se puede definir como el rendimiento de un cultivo por unidad de agua utilizada, la tasa de crecimiento (TC, $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) con las ecuaciones 1 y 3 y se calculó la MS_T acumulada (MS_{TAC} , kg MS ha^{-1}) (Ecuación 9):

$$MS_{TAC} (\text{kg}^{-1} \text{MS ha}^{-1}) = MS_T \text{ ciclo 1} + MS_T \text{ ciclo 2} + MS_T \text{ ciclo 3} + MS_T \text{ ciclo 4} \quad [\text{Ecuación 9}]$$

donde: MS_{TAC} : materia seca total acumulada (kg MS ha^{-1}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Productividad del cultivo

En relación con al análisis de la productividad del cultivo de lechuga, se encontró una interacción significativa entre los suelos ($p \leq 0,05$), motivo por el cual fueron analizados por separado (Tabla 23 y 24).

Efecto de la salinidad del agua

Suelo arenoso: El uso de agua con alta salinidad presentó efecto negativo con diferencias significativas en la MS_T entre los tratamientos que recibieron agua de CE $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ respecto a los tratamientos con agua $1,5$ y $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. El valor potencial obtenido en el suelo arenoso con la aplicación del agua de baja salinidad y el tratamiento CCV fue de 1416 kg ha^{-1} con una disminución del rendimiento cuando se regó con agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, mientras que, el tratamiento SCV obtuvo un valor máximo de 420 kg ha^{-1} cuando se regó con agua de baja salinidad y las pérdidas fueron totales cuando se regó con agua de alta salinidad (Tabla 21).

Suelo franco arenoso: El uso de agua con alta salinidad presentó un efecto negativo con diferencias estadísticas en la MS_T entre los tratamientos que recibieron agua con CE de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ respecto a $1,5$ y $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. El valor potencial obtenido con el tratamiento CCV con agua de baja salinidad fue de 1068 kg ha^{-1} , mientras que el valor obtenido con el tratamiento SCV al igual que sucedió en el suelo de textura gruesa fue inferior con un valor de 750 kg ha^{-1} .

En contraste con el suelo arenoso, en el suelo franco arenoso sin cobertura disminuyó la productividad del 81% a causa del uso de agua con alta salinidad. Esto resalta que el impacto de la aplicación de agua con alta salinidad fue significativamente mayor en el suelo arenoso en comparación con el suelo franco arenoso, enfatizando la diferencia marcada en términos de textura del suelo (Tabla 22).

Efecto de la cobertura vegetal

Suelo arenoso: Se observaron diferencias altamente significativas por efecto del uso de cobertura vegetal en los tres tratamientos regados con agua de diferente calidad en las variables relacionadas al rendimiento del cultivo (MS_T , MS_A , MS_R , MS_A/MS_R y MS_{TAC}) (Tabla 23). El efecto del uso de cobertura vegetal se observó con un impacto positivo en la EUA, registrando tres veces más producción en los tratamientos CCV (3,04) en comparación con los tratamientos SCV (0,90) cuando se regó con agua de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. Se obtuvo una TC máxima de $68 \text{ kg } MS_T \text{ ha}^{-1}$ en el tratamiento CCV regado con agua de baja salinidad, mientras que el valor máximo obtenido para los tratamientos SCV con la misma calidad de agua fue de $20 \text{ kg } MS_T \text{ ha}^{-1}$.

Respecto a la MS_{TAC} se obtuvo valores máximos de $8401 \text{ kg } MS_T \text{ ha}^{-1}$ con el tratamiento CCV y de $5463 \text{ kg } MS_T \text{ ha}^{-1}$ en los tratamientos SCV. El uso de agua con alta salinidad tuvo un efecto negativo con diferencias significativas en la MS_{TAC} en comparación con

los tratamientos con agua de baja salinidad. En los tratamientos CCV no se observaron diferencias significativas en la variable canopeo, con un valor promedio del 54%, mientras que en los tratamientos SCV se evidenció un efecto negativo al regar con agua de alta salinidad, con una disminución del 71% en el tratamiento con agua de salinidad intermedia y del 100% en el tratamiento con el agua más salina. En los tratamientos CCV no se registró un efecto negativo por el uso de agua de alta salinidad, mientras que, en los tratamientos SCV hubo un efecto adverso por la salinidad.

En el suelo arenoso el uso de cobertura vegetal demostró pérdidas de la MS_T debido al uso de agua con alta salinidad, más pronunciada en la parte de raíces en comparación con la parte aérea, mientras que en los tratamientos SCV, se registró una pérdida total en las variables relacionadas con el rendimiento. En el suelo franco arenoso el uso de cobertura vegetal evidenció pérdidas similares por el uso de agua con alta salinidad en la parte de raíces respecto a la parte aérea sin diferencias significativas entre calidades de agua utilizadas. En cambio, en los tratamientos SCV las pérdidas fueron mayores en la parte aérea cuando se regó con agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Mientras que, a largo plazo, el uso de agua con alta salinidad afectó en mayor medida a la MS_{TAC} en el suelo de textura gruesa.

Tabla 211: Productividad del cultivo de lechuga y efecto de la cobertura vegetal en un suelo arenoso al cuarto ciclo de lechuga con diferente calidad de agua, con y sin cobertura vegetal.

	SCV					CCV			Efecto de Cobertura						
ARENOSO	CE1,0		CE1,5		CE2,0	CE1,0		CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0			
MS _T , kg ha ⁻¹	420	B	0	A	0	A	1416	a	1090	a	1163	a	***	***	***
MS _A , kg ha ⁻¹	268	B	0	A	0	A	775	a	603	a	728	a	***	***	***
MS _R , kg ha ⁻¹	151	B	0	A	0	A	641	b	486	a	435	a	***	***	***
MS _A /MS _R	1,77	B	0	A	0	A	1,21	a	1,24	a	1,67	b	ns	***	***
MS _{TAC} , kg MS _T ha ⁻¹	5463	B	4033	A	3520	A	8401	a	6998	b	5356	c	***	***	**
% CANOPEO	27,6	B	7,87	A	0	A	57,5	a	50,9	a	55,6	a	**	**	***
TC, kg MS _T ha ⁻¹ día ⁻¹	20,2	B	0	A	0	A	68	a	52,3	a	55,8	a	***	***	***
EUA, kg MS _T ha ⁻¹ mm ⁻¹	0,9	B	0	A	0	A	3,04	a	2,34	a	2,49	a	***	***	***

MS_T, MS_A, MS_R, materia seca total, aérea y de raíz. MS_{TAC}, materia seca total acumulada. TC, tasa de crecimiento. EUA, eficiencia de uso del agua. CCV, con cobertura vegetal; SCV, sin cobertura vegetal. CE1,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1,5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. Diferencias por efecto del agua salina se presentan por letras minúsculas diferentes en los tratamientos CCV y letras mayúsculas en los tratamientos SCV. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). (***), (**), (*) y ns indican efectos significativos al 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo respectivamente.

Suelo franco arenoso: Se observaron diferencias significativas por efecto del uso de cobertura vegetal en los tratamientos regados con agua de intermedia y alta salinidad en las variables MS_T y MS_R . Mientras que, en la variable MS_A las diferencias estadísticas se observaron para las tres calidades de agua evaluadas. El uso de cobertura vegetal atenuó el efecto negativo por el uso de agua con alta salinidad (Tabla 22). En cuanto a la relación MS_A/MS_R se observó un valor máximo de 2,68 en el tratamiento con agua de baja salinidad y un valor mínimo de 2,33 con el tratamiento de agua de alta salinidad, sin diferencias significativas entre calidades de agua utilizadas, indicando pérdidas similares en la parte de raíces respecto a la parte aérea.

Los tratamientos SCV evidenciaron pérdidas en la MS_T del 81% siendo disminuciones similares entre la biomasa de raíces y la aérea, por lo cual la relación MS_A/MS_R tuvo similar comportamiento en la biomasa radicular y aérea cuando se regó con agua de intermedia salinidad, mientras que con alta salinidad el efecto negativo fue más notorio en la parte aérea (Tabla 22). Además, el uso de agua con alta salinidad no presentó diferencias significativas en la MS_{TAC} entre los tratamientos que recibieron agua de CE 1,0; 1,5 y 2,0 $dS\ m^{-1}$, sin embargo, el valor de pérdida fue de 29% en el tratamiento CCV y del 35% en el tratamiento SCV cuando se utilizó agua de salinidad intermedia respecto al uso de agua de 1,0 $dS\ m^{-1}$.

En los tratamientos CCV no hubo diferencias significativas en la variable canopeo y el valor promedio fue de 50%, mientras que, en los tratamientos SCV se evidencio un efecto negativo al regar con agua de alta salinidad con una disminución del 87%. El efecto adverso del agua con alta salinidad se vio reflejado en la EUA y la TC, ya que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con agua de 1,0 $dS\ m^{-1}$ respecto a los tratamientos regados con 1,5 y 2,0 $dS\ m^{-1}$ en los tratamientos con y sin cobertura vegetal. En cuanto al efecto del uso de cobertura vegetal, en este suelo al igual que en el suelo arenoso, se observó mayor EUA en los tratamientos CCV en comparación a los tratamientos SCV. Los valores máximos obtenidos fueron de 2,29 $kg\ MS_T\ mm^{-1}$ en los tratamientos CCV y de 1,57 $kg\ MS_T\ mm^{-1}$ en los tratamientos SCV, con agua de baja salinidad. En cuanto a la TC el valor máximo para los tratamientos que recibieron agua con CE 1,0 $dS\ m^{-1}$ fue de 51 $kg\ MS_T\ día^{-1}$ CCV y de 35 $kg\ MS_T\ día^{-1}$ en los tratamientos SCV (Tabla 22).

Tabla 222: Productividad del cultivo y efecto de la cobertura vegetal en el suelo franco arenoso al cuarto ciclo de lechuga con diferente calidad de agua, con y sin cobertura vegetal.

	SCV			CCV			Efecto de Cobertura		
FRANCO ARENOSO	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0	CE1,0	CE1,5	CE2,0
MS _T , kg ha ⁻¹	731 B	341 A	138 A	1068 b	750 a	758 ab	ns	**	**
MS _A , kg ha ⁻¹	466 C	256 B	82 A	720 b	471 a	523 a	**	***	**
MS _R , kg ha ⁻¹	265 B	85 A	57 A	348 a	278 a	235 a	ns	*	*
MS _A /MS _R	1,84 B	3,13 C	0,29 A	2,68 a	2,28 a	2,33 a	ns	ns	**
MS _{TAC} , kg MS _T ha ⁻¹	6938 B	4458 A	5020 A	6320 a	4441 a	4766 a	ns	ns	ns
% CANOPEO	47,4 B	16,9 A	6 A	54,3 a	48,2 a	48,4 a	ns	***	***
TC, MS _T kg ha ⁻¹ día ⁻¹	35,1 B	16,4 A	6,6 A	51,2 b	36 a	36,4 ab	ns	**	**
EUA, MS _T kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	1,57 B	0,73 A	0,3 A	2,29 b	1,61 a	1,63 ab	ns	**	**

MS_T, MS_A, MS_R, materia seca total, aérea y de raíz. MS_{TAC}, materia seca total acumulada. TC, tasa de crecimiento. EUA, eficiencia de uso del agua. CCV, con cobertura vegetal; SCV, sin cobertura vegetal. CE1,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1,5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. EC, Efecto de la cobertura vegetal. Diferencias por efecto del agua salina se presentan por letras minúsculas diferentes en los tratamientos CCV y letras mayúsculas en los tratamientos SCV. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). (***), (**), (*) y ns indican efectos significativos al 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo respectivamente.

En este estudio, el rendimiento disminuyó un 20% por cada incremento de 0,5 en la salinidad. Además, un análisis sobre el uso de agua salina indica que la salinidad del suelo afecta el rendimiento de la lechuga cuando supera los 1,1 dS m⁻¹, provocando una reducción del 9% por cada unidad adicional de salinidad (Uenluekara *et al.*, 2008). Otro estudio, observó que un gradiente salino de 1,0 a 8,0 dS m⁻¹ causó una notable reducción en el rendimiento entre 1,0 y 2,0 dS m⁻¹, una disminución moderada entre 2,0 y 5,0 dS m⁻¹, y un rendimiento bajo y casi constante entre 5,0 y 8,0 dS m⁻¹ (Beltrão *et al.*, 1996), en línea con los resultados de este trabajo.

En este estudio, la cobertura vegetal mostró un efecto positivo en el rendimiento, especialmente en suelos de textura gruesa y bajo riego con alta salinidad.

Con cobertura vegetal, la pérdida de materia seca total fue del 17% debido al uso de agua salina, siendo más acentuada en la raíz (32%) en comparación con la parte aérea (6%). En los tratamientos sin cobertura vegetal se registró una pérdida del 100% en las variables de rendimiento. Los cultivos responden de manera diversa a la salinidad según su umbral de estrés y la textura del suelo. La aplicación de carbono biológico ha demostrado ser eficaz en diferentes texturas, manteniendo el rendimiento incluso con agua de riego de alta salinidad (Yaganoglu *et al.*, 2023), lo que podría explicar las diferencias observadas entre los suelos evaluados en este trabajo.

En el suelo arenoso, la comparación entre los tratamientos con agua de 2,0 dS m⁻¹ y agua de baja salinidad mostró pérdidas del 36% en los tratamientos con cobertura vegetal y del 26% en los tratamientos sin cobertura. Estudios previos en suelos franco limosos y mixtos, donde se aplicó cobertura de paja de trigo hasta 16 t/ha al año, reportaron mejoras en la porosidad, la retención de agua y la estabilidad de los agregados (Mulumba y Lal, 2008). Esto podría explicar el efecto mitigador de la cobertura en este estudio, dado que la falta de cobertura vegetal puede haber causado mayor pérdida de agua y aumentado el efecto de la salinidad, junto con el posible impacto negativo del fertilizante sintético. Investigaciones adicionales han mostrado que la cobertura vegetal con paja de trigo puede mejorar la rentabilidad de la lechuga, inhibir el crecimiento de malezas y estimular la actividad biológica del suelo (Aziz *et al.*, 2019). La salinidad también afecta negativamente la descomposición de la materia orgánica, especialmente en suelos arenosos por su baja retención de agua (Setia *et al.*, 2011).

En este estudio, el suelo arenoso presentó un 30% menos de rendimiento (MS_T) en los tratamientos sin cobertura respecto a los tratamientos con cobertura. Mientras que, en el suelo franco arenoso se observó una disminución del 68% entre los tratamientos con y

sin cobertura vegetal. Además, en el suelo franco arenoso, la cobertura vegetal atenuó el impacto de la salinidad, con pérdidas similares en la raíz (32%) y la parte aérea (27%), sin diferencias significativas entre las calidades de agua utilizadas.

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua y la tasa de crecimiento en el suelo franco arenoso, los tratamientos SCV mostraron menor rendimiento respecto a los tratamientos CCV. Estudios indican que la cobertura, tanto vegetal como sintética, incrementa la EUA. Algunos estudios reportaron una mejora del 49% en suelo cubierto frente a desnudo (Escobosa García *et al.* 2022), mientras que Biswas *et al.* (2022) observaron un aumento del 30% en EUA usando paja de arroz como cobertura. Para maximizar estos beneficios, es esencial adaptar el uso de cobertura a las condiciones del suelo. Otro estudio en lechuga mostró un ahorro de agua del 25% con cobertura plástica (Almeida *et al.*, 2015), concordante con nuestros resultados.

En cuanto a la relación MS_A/MS_R , el suelo arenoso mostró un efecto diferencial sobre el crecimiento de la raíz y la parte aérea debido a la cobertura, especialmente importante en la raíz por su rápida pérdida de humedad, a diferencia del suelo de textura franco arenosa, en el cual se observaron pérdidas similares en la parte aérea respecto a la radicular. Un estudio en lechuga concluyó que la salinidad afecta el crecimiento de las raíces con CE superiores a $2,8 \text{ dS m}^{-1}$ (Rosas *et al.*, 2019).

En este trabajo todos los tratamientos recibieron una dosis de 100 kg N ha^{-1} de abono orgánico y se observó en el suelo de textura franco arenosa que los tratamientos sin cobertura vegetal tuvieron pérdidas totales por efecto del riego con agua de intermedia y alta salinidad. Según la bibliografía, la calidad comercial de la lechuga está definida por el peso fresco y el tamaño de la planta. Hay estudios que han observado que salinidades superiores a $2,0\text{-}2,6 \text{ dS m}^{-1}$ disminuyen el rendimiento y el crecimiento (Andriolo *et al.*, 2005). Asimismo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados (120 kg ha^{-1}) incrementa el rendimiento, pero este se reduce con dosis más altas de nitrógeno debido a toxicidad o desequilibrios nutricionales (Boroujerdnia *et al.*, 2007). Los estudios sugieren que fertilizar la lechuga con dosis de nitrógeno menores a 60 kg ha^{-1} favorece su crecimiento, mientras que dosis de hasta 180 kg ha^{-1} aumentaron significativamente la pérdida de nitrógeno por lixiviación (Braos *et al.*, 2019). Asimismo, se ha observado que el riego con agua de conductividad eléctrica (CE) no mayor a $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ reduce el contenido de nitratos en las hojas, sin afectar considerablemente el rendimiento ni la calidad nutricional de la lechuga (Mola *et al.*, 2013). Estos antecedentes podrían explicar la mortalidad de

algunas plantas de lechuga expuestas a agua de alta salinidad en los tratamientos sin cobertura vegetal.

CONCLUSIONES PARCIALES

Se confirmó la hipótesis.

La textura a través de la capacidad de retención (mayor CRA) modifica la dinámica del agua y la eficiencia de uso.

Hay un efecto positivo por el uso de cobertura vegetal el cual implica un incremento en la producción del cultivo de lechuga en ambos suelos. El efecto fue mayor en el suelo de textura gruesa independientemente de la calidad del agua utilizada. El uso de cobertura vegetal fue significativo cuando se utiliza agua con alta salinidad para el cultivo evaluado (sensibilidad a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$) en el suelo franco arenoso.

El uso de cobertura vegetal mejoró la EUA, lo que reduce la necesidad de aplicar agua al cultivo en ambos suelos.

El efecto del agua salina en el suelo arenoso fue significativo en la parte radicular y altamente significativos en la MS_T cuando los tratamientos fueron CCV. En el suelo franco arenoso no se encontraron diferencias estadísticas en la MS (total, aérea y radicular), posiblemente tiene mayor capacidad para contrarrestar el efecto salino, que requiera más tiempo para manifestarse.

vii. Influencia de distintas fuentes nitrogenadas sobre
el cultivo de lechuga

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es esencial para las plantas al formar parte de las proteínas y de la clorofila resultando en mayor rendimiento de los cultivos (Kim *et al.*, 2020). El uso excesivo de los fertilizantes sintéticos perjudica las propiedades físicas, químicas, biológicas del suelo, estresa la planta, contamina el ambiente, lo que causa reducción en el rendimiento y pérdida económica (Cruz Nieto *et al.*, 2022).

El uso excesivo de fertilizantes químicos en la agricultura causa contaminación ambiental severa sobre los recursos agua, suelo y aire (Beltrán y Bernal, 2022). Los abonos orgánicos en base a estiércol animal liberan diferentes cantidades de N inorgánico dependiendo de su contenido y calidad, que pueden durar más que el ciclo del cultivo. Por lo expuesto, el conocimiento de la dinámica de esta liberación de N inorgánico es útil, no sólo para estimar la disponibilidad de N a partir de modificaciones durante la temporada, sino también para mejorar la sincronía entre el suministro de N y demanda de N del cultivo (Cardoso Prieto, 2016).

Por otra parte, la urea tiene pérdidas de volatilización del N inorgánico o desnitrificación en condiciones de alta humedad en el suelo. Una alternativa para la fertilización es la reutilización de residuos orgánicos a través de un proceso de transformación en el cual intervengan bacterias, hongos y/o algas (biotransformación) (Moisés *et al.*, 2018). Las aplicaciones de los abonos orgánicos suelen ser en dosis basadas en N pero es fundamental considerar la mineralización, la cual varía dependiendo de la naturaleza del abono y de los métodos de estabilización, ya sea crudo, compost o vermicompost. Los principales factores que influyen en este proceso son la temperatura, la humedad y la textura del suelo (Cardoso *et al.*, 2015). Además, el contenido de N en abonos orgánicos no está disponible directamente para las plantas, necesita ser transformado a formas solubles que puedan ser absorbidas por el cultivo (Cardoso *et al.*, 2012). El N orgánico del compost se transforma lentamente en NH_4^+ y NO_3^- por lo que no se mineralizan rápidamente en el periodo inicial tras su aplicación en el suelo, sino que se almacenan y se liberan paulatinamente (Sánchez y Delgado, 2008). En la mayoría de los suelos agrícolas a medida que aumenta la temperatura, aumenta la mineralización de nitrógeno (Eghball, 2002), alcanzando los valores más altos cuando la humedad está cerca de la capacidad de campo y disminuye con el secado del suelo (Cassman & Munns, 1980).

La textura del suelo también es importante para la estabilización de la materia orgánica, ya que la arcilla permite la formación de complejos órgano-minerales estables,

disminuyendo pérdidas de carbono (C) y N por mineralización (Amlinger *et al.*, 2003). La aplicación de prácticas de manejo adecuadas puede incrementar la productividad agrícola, mejorar la calidad del suelo, previniendo o reduciendo su degradación (Felipe Morales, 2002; Fernández *et al.*, 2017). En ese sentido, el manejo sustentable de los suelos mediante diversas prácticas resulta prometedor (Dhakal & Nandwani, 2020). Una alternativa es el uso de cobertura vegetal, la cual evidencia un incremento en la reserva de carbono y su fertilidad (Jarecki *et al.*, 2018). En la región semiárida las precipitaciones limitan la productividad (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). En estas zonas, el principal factor de pérdida de agua desde la superficie del suelo es la evaporación, que puede reducirse con coberturas (Bodner *et al.*, 2007). La eficiencia de almacenamiento de agua en el suelo está íntimamente ligada al nivel de cobertura, observándose las mayores eficiencias en aquellos suelos con alto nivel de cobertura de residuos (Duval *et al.*, 2021).

HIPÓTESIS PARTICULAR

De acuerdo con estudios previos, el uso de abonos orgánico presenta liberación más lenta y continua en estos planteos intensivos de producción.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Cuantificar el efecto del origen de la fuente nitrogenada en la lechuga irrigada con dos calidades de agua diferente sobre la eficiencia del uso del nitrógeno y del agua en dos suelos de la región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en macetas con 5 repeticiones (aleatorizadas) durante 4 ciclos consecutivos totales (2020 y 2021). Los tratamientos fueron: con cobertura vegetal (CCV) a base de centeno cortado a 1 cm y sin ella (SCV). Los tratamientos de fertilización fueron expresados en kg ha⁻¹ de Urea:Abono orgánico C0 (100:0) y C4 (40:60) para igualar una dosis de 100 kg N ha⁻¹ y se realizó previa al trasplante de lechuga en el primer y tercer ciclo. El abono orgánico se elaboró con residuos biotransformados en base a cebolla y estiércol de vaca de origen orgánico y urea como fuente de síntesis química. La caracterización química del abono orgánico se detalla en la Tabla 4. Los suelos utilizados son los mismos detallados en 3.2.

Se cuantificó la materia seca de raíces (MS_R), aérea (MS_A) y total (MS_T). El nitrógeno de la MS_T fue determinado por método de semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996), y la

proteína bruta se obtuvo de multiplicar el porcentaje de N por el factor de conversión de 6,25 (Volonteri y Jonas, 1981). La eficiencia de uso del agua (EUA, kg MS ha⁻¹ mm⁻¹), la cual se puede definir como la producción de un cultivo por unidad de agua utilizada y la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN, kg N ha⁻¹), ambas eficiencias para la MS total, aérea y radicular, con las ecuaciones 1 y 2.

El análisis estadístico corresponde al descripto en la sección 3.9.

En síntesis, en este análisis en particular el tratamiento principal I, se regó con dos calidades de agua con conductividad eléctrica (CE) de 1,0 dS m⁻¹ considerada de baja salinidad y adecuada para los cultivos y de 2,0 dS m⁻¹, de alta salinidad para la zona. El tratamiento secundario II, se aplicó una dosis de 100 kg N ha⁻¹ usando tres combinaciones de las fuentes abono orgánico y urea (C0 y C4). Se compararon los tratamientos CCV y SCV para ambos suelos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fuente nitrogenada

Se encontró interacción significativa entre los suelos, motivo por el cual fueron analizados por separado ($p \leq 0,05$).

Suelo arenoso: La respuesta en la productividad y las variables estudiadas, son similares en todos los tratamientos de abono y agua, sin presentar diferencias significativas en la fuente orgánica o inorgánica. Sin embargo, los valores obtenidos con el tratamiento C4 en todas las variables, con excepción de la proteína de la MS, son superiores a los obtenidos con los tratamientos C0. El tratamiento C0 con agua 1,0 dS m⁻¹ registró el valor más alto de proteína en la MS (237 kg ha⁻¹), similar al trabajo de Olivares Campos *et al.* (2012), en donde encontraron que, el nivel más alto de N en el contenido nutricional foliar de lechuga mostró la mayor absorción de este nutriente con la fuente inorgánica a base de urea que se caracteriza por ser una fuente rica en N, con alta solubilidad.

En el análisis de la MS_T los valores obtenidos oscilaron entre 786 y 1386 kg ha⁻¹, con un valor mínimo para el tratamiento C0 con agua de 2,0 dS m⁻¹ y el valor máximo fue para el tratamiento con C4 con agua de 1,0 dS m⁻¹ (Tabla 23).

El efecto de la salinidad fue más importante sobre la MS_R ($p=0,0023$) respecto a la parte aérea (Tabla 23). En el análisis del uso de agua de diferente calidad no se observaron

diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, sin embargo, la MS_T en aquellos tratamientos que recibieron agua de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ fue de 1284 kg ha^{-1} y para los tratamientos que recibieron agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ fue inferior (955 kg ha^{-1}) (Tabla 23). Los resultados podrían deberse a que, si bien el uso de abono orgánico es positivo porque favorece al ambiente, el contenido de N en los abonos orgánicos no se encuentra disponible directamente para las plantas y necesita ser transformado a formas solubles que puedan ser absorbidas por el cultivo (Cardoso *et al.*, 2012). Estos autores, demostraron que entre el 7 y 40% del N total aplicado de compost fue mineralizado.

Respecto al análisis de las eficiencias, en el suelo arenoso todos los tratamientos con C4 fueron más eficientes que los tratamientos C0. La EUN para los tratamientos que fueron regados con agua de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$, en promedio fue del 41% superior a los tratamientos C0 regados con la misma calidad de agua. Mientras que, aquellos tratamientos C4 que recibieron agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ fueron un 47% más eficientes en el uso del N respecto a los tratamientos C0. En el caso de los tratamientos C4, la EUA con agua de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ fue del 17% y para el agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ fue del 45% más eficiente respecto a los tratamientos C0. Amirouche *et al.* (2019), determinaron que la fertilización con 120 kg N ha^{-1} tuvo mayor EUN (75%) y la recomiendan como la tasa más eficiente para el cultivo de lechuga, ya que se distribuye en un 71% para las hojas y un 59% para las raíces, siendo la dosis que permite alcanzar las mejores eficiencias. Además, asumen que el restante 25% del N está en el suelo o se pierde por lixiviación. No obstante, Machet *et al.* (1987), determinaron que al momento de la cosecha de lechuga (49 días posteriores al transplante) el N (kg ha^{-1}) promedio total absorbido por la parte aérea aumentó con el aporte de N orgánico. La EUN cambió significativamente en los tratamientos fertilizados, dado que con estiércol se utilizó el 25%, mientras que con N mineral fue del 16%. Por lo cual, el manejo del agua de riego y la distribución de fertilizantes influyen significativamente en la eficiencia del uso del nitrógeno (Thompson & Doerge, 1996). Otro estudio en un suelo de Neuquén demostró que los mayores rendimientos de lechuga y la EUN fueron mayores en las parcelas fertilizadas con abono orgánico (Aruani *et al.*, 2008).

Tabla 233: Productividad, eficiencias y calidad del cultivo en un suelo arenoso al cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

ARENOSO	CCV						
	CE1,0		CE2,0		Salinidad	Abono	Abono-Salinidad
	C0	C4	C0	C4			
MS, kg ha ⁻¹							
Total	1183	1386	786	1125	0,0392	0,0774	0,6246
Aérea	614	750	522	708	0,4721	0,1057	0,7844
Raíz	569	636	264	417	0,0023	0,1027	0,4903
Prot, kg ha ⁻¹	237	164	166	174	0,3745	0,3488	0,2454
EUN, kg N ha ⁻¹							
Total	5,7	6,4	2,6	4,2	0,0023	0,1019	0,4908
Aérea	6,1	7,5	5,2	7,1	0,4720	0,1058	0,7843
Raíz	11,8	13,9	7,9	11,3	0,0391	0,0772	0,6247
EUA, kg MS mm ⁻¹							
Total	2,11	2,48	1,40	2,01	0,0381	0,0767	0,6276
Aérea	1,10	1,34	0,93	1,26	0,4663	0,1051	0,7894
Raíz	1,02	1,14	0,47	0,74	0,0022	0,1041	0,4825

CCV, con cobertura vegetal. MS, materia seca; EUN, eficiencia de uso del nitrógeno, EUA, eficiencia de uso del agua. Prot, proteína de la materia seca. CE1,0 y 2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de Urea: Abono orgánico C0 (100:0,0) y C4 (40:60). Diferencias por efecto del agua salina se presentan por letras minúsculas diferentes en 1,0 y letras mayúsculas en 2,0

Tabla 24: Productividad, eficiencias y calidad del cultivo en un suelo franco arenoso al cuarto ciclo de lechuga con diferente aporte de abono orgánico y calidad de agua.

FRANCO ARENOSO		CCV					
	CE1,0		CE2,0				
	C0	C4	C0	C4			
MS, kg ha ⁻¹					Salinidad	Abono	Abono-Salinidad
Total	1125	1061	547	836	0,1746	0,6872	0,5310
Aérea	653	694	242	575	0,0597	0,1598	0,2625
Raíz	472	367	306	261	0,4039	0,6403	0,8481
Prot, kg ha ⁻¹	258	222	103	168	0,0740	0,7811	0,3441
EUN, kg N ha ⁻¹							
Total	4,7	3,7	3,1	2,6	0,4035	0,6394	0,8483
Aérea	6,5	6,9	2,4	5,8	0,0595	0,1598	0,2616
Raíz	11,3	10,6	5,5	8,4	0,1743	0,6871	0,5306
EUA, kg MS mm ⁻¹							
Total	2,01	1,9	0,98	1,49	0,1732	0,6857	0,5304
Aérea	1,17	1,24	0,43	1,03	0,0595	0,1608	0,2568
Raíz	0,85	0,65	0,54	0,47	0,4003	0,6377	0,8378

CCV, con cobertura vegetal. MS, materia seca; EUN, eficiencia de uso del nitrógeno, EUA, eficiencia de uso del agua. Prot, proteína de la materia seca. CE1,0 y 2,0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Tratamientos de fertilización expresados en gramos de Urea: Abono orgánico C0 (100:0,0) y C4 (40:60). Diferencias por efecto del agua salina se presentan por letras minúsculas diferentes en 1,0 y letras mayúsculas en 2,0.

Suelo franco arenoso: No se observó efecto por el uso de cobertura vegetal ni por efecto del agua salina (Tabla 24). A diferencia del suelo arenoso, el efecto de la salinidad en el suelo franco arenoso es más importante en la MS_A ($p=0,0597$) respecto a la radicular (Tabla 24).

En el análisis de las eficiencias, en este suelo se observó un incremento en la misma en el tratamiento C4 sobre la parte aérea con un 6% cuando fueron regados con agua de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ y un 58% más eficientes cuando se regaron con agua de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabla 24). Marouani *et al.* (2013), demostraron una pobre EUN en el cultivo de papa, y aseguran que la ineficiencia se debe a que el nitrato se concentró en la capa superior del suelo y se había perdido por lixiviación.

En este estudio no registraron diferencias significativas por aplicar abono orgánico o inorgánico. Al igual que el estudio de Reyes *et al.* (2013), en el cual muestran que los fertilizantes orgánicos pueden alcanzar producciones similares o superiores a los fertilizantes minerales. Teniendo presente que el N de origen inorgánico estará rápidamente disponible, pero será más susceptible a pérdidas que el orgánico, resulta necesario profundizar sobre aspectos claves que hacen a las diferencias.

CONCLUSIONES PARCIALES

No se confirmó la hipótesis.

El uso de abono orgánico, en el suelo arenoso fue más eficiente (EUA y EUN) respecto a los tratamientos con abono inorgánico.

En este estudio no hubo interacción, lo que indica que la respuesta en la productividad y las variables son similares en todos los tratamientos de abono y agua, y que no hubo diferencias significativas en la fuente orgánica-inorgánica.

5. CONTRIBUCIONES DEL ESTUDIO Y CONCLUSIONES FINALES

Los resultados obtenidos, junto a la bibliografía consultada, permitieron validar la hipótesis planteada, que se detalla a continuación:

HIPÓTESIS GENERAL

El uso de abono orgánico y cobertura vegetal en el suelo reducen los efectos negativos del agua salina, incrementan la eficiencia en el uso del agua y la productividad de lechuga bajo cubierta, con efectos que varían según la textura del suelo.

Se confirma la hipótesis general.

La textura del suelo influye en la respuesta a la calidad del agua y el uso de abono orgánico, que mitigó los efectos negativos del agua salina en la mayoría de las variables.

El suelo arenoso presentó mayor eficiencia en el uso del agua y una mayor velocidad de crecimiento en comparación con el suelo franco arenoso.

La estación del año modificó la eficiencia de uso del agua y la tasa de crecimiento sobre la producción del cultivo.

El uso de agua salina presentó un efecto adverso sobre la producción total, como consecuencia de la caída de la tasa de crecimiento y la eficiencia de uso del agua, en los suelos evaluados.

El efecto negativo del agua salina es mayor en el suelo de textura más fina.

En cuanto a los fertilizantes, el uso de abono orgánico mitigó los efectos negativos del agua salina en la mayoría de las variables. En el suelo franco arenoso, el efecto adverso del agua disminuyó al aumentar el abono orgánico.

El abono orgánico demostró ser más eficiente en el suelo arenoso en comparación con el abono inorgánico, aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambas fuentes de fertilización.

La cobertura vegetal tuvo un efecto positivo en la producción de lechuga, particularmente en el suelo arenoso, mejorando la eficiencia en el uso del agua y reduciendo la necesidad de riego.

En el suelo franco arenoso, el impacto fue más evidente cuando se utilizó agua de alta salinidad.

Además, la cobertura vegetal mejoró la calidad de la lechuga, con un efecto más pronunciado en el suelo arenoso, donde la salinidad tuvo un menor impacto.

6. RESÚMEN GRÁFICO

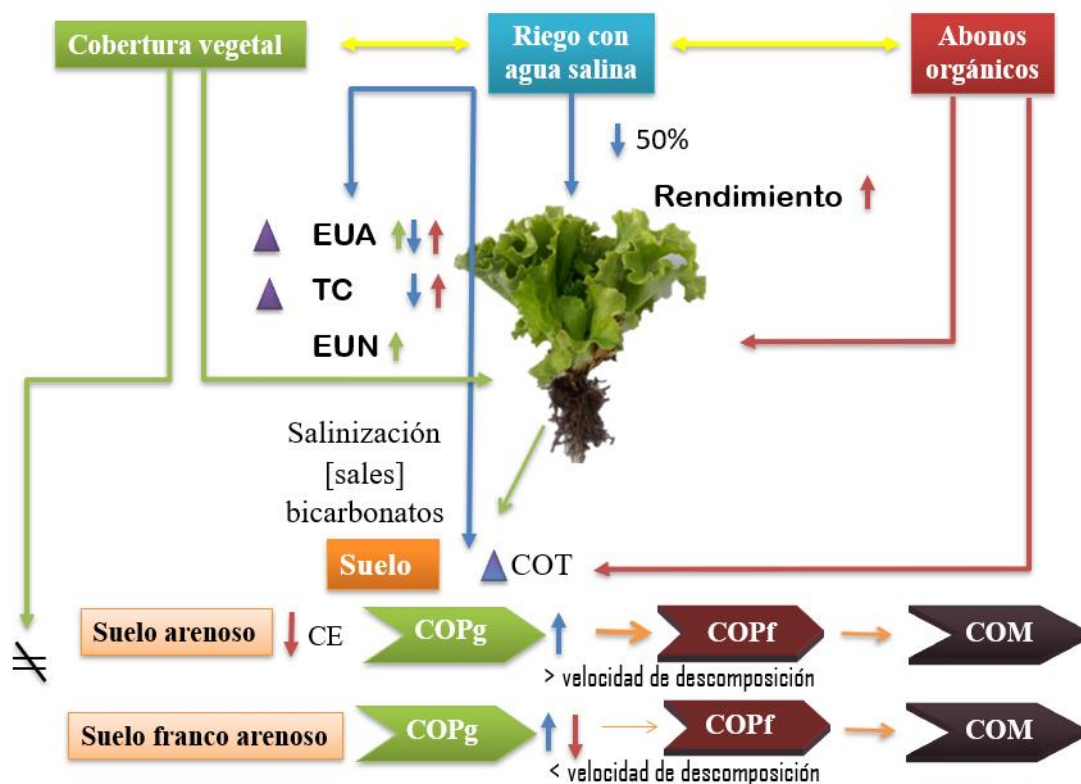


Figura 4: Síntesis de los efectos observados.

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron conocer y proponer pautas para el manejo del cultivo de lechuga bajo invernadero en suelos característicos de La Pampa. Los diferentes estudios realizados abordaron, diferentes aspectos a considerar para la correcta utilización del riego con agua con alta salinidad y la aplicación de fuentes nitrogenadas. Es fundamental incorporar alternativas de manejo que consideren la clase textural, que permitan atenuar el efecto adverso del uso de agua salina para mejorar los rendimientos del cultivo, evitar el deterioro de los suelos por la acumulación de sales y mejorar la EUA.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abd-Elrahman, S. H., Saady, H. S., El-Fattah, D. A. A. & 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.
- 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/UNLPamp. https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/1376/a_acoeva602.pdf?sequence=1
- Adiloğlu, S., Eryılmaz Açıkgöz, F., Solmaz, Y., Çaktü, E. & 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.
- Adrover, M., Miralles, P., Farrús, E., Lladó, G. y Vadell, J. (2001). Aprovechamiento del agua de riego mediante el uso de distintos tipos de acolchado. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. V Jornadas Técnicas. Mallorca, España.
- Alconada, M. y Minghinelli, F. (1998). Calidad de agua de riego según diferentes criterios: influencia sobre la salinización-alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el gran La Plata. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 229-230.
- Almeida, W. F. D., Lima, L. A. & Pereira, G. M. (2015). Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, 35, 1009-1018. <https://www.scielo.br/j/eagri/a/HBZyr3Rt9kPfg8rbymPBbqh/?lang=en&format=html>
- Álvarez, C., Muguiro, A. y Pechín, C. (2023). ¿Qué indicadores de suelo modifican los cultivos de cobertura en ensayos de larga duración en sistemas intensivos de producción bajo cubierta?. *Cultivos intensivos bajos cubierta. Investigación, desarrollo e innovación en el marco del PEI009. Especial Jornadas sobre Biofumigación*, 3 (4), 84-90. In Mitidieri, M. S., Piola, M., Brambilla, M. V., Meneguzzi, N., Cuellas, M. V., Obregón, V. G., & Puerta, A. V. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/14954>
- Amlinger, F., Götz, B., Dreher, P., Geszti, J. & Weissteiner, C. (2003). Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability a review. *European Journal of Soil Biology*, 39(3), 107-116. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(03\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(03)00026-8)

- Amirouche, M., Zella, L. & Smadhi, D. (2019). Influence of nitrogen fertilization on lettuce yields (*Lactuca sativa* L.) using the ^{15}N isotope label. *Agronomy Research*, 17(3), 641–652, 2019.
- <https://doi.org/10.15159/AR.19.118>
- Andreau, R., Calvo, L., Chale, W., Etcheverry, M., Etchevers, P. y Génova, L. (2017). Recuperación de un suelo salinizado bajo cubierta para la producción de lechuga regada por goteo. V Reunión de la Red Argentina de Salinidad. 2. Área temática: Manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos. Pp 132-139. ISBN 978-987-42-5601-0. 4-6 de octubre de 2017. V. Mercedes, San Luís
- Andriulo, A., Galetto, M.L., Ferreyra, C., Cordone, G., Sasal, C., Abrego, F., Galina, J. y Rimatori, F. (1998). Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. I: propiedades físico-químicas. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz 247-258.
- Andriulo, A. y Cardone, G. (1998). Impacto de las labranzas y rotaciones sobre la MO de los suelos de la región pampeana húmeda. INTA y Hemisferio Sur SA. Argentina: 65-96 pp.
- Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H., Posse, G., Prieto, D., Sánchez, E., Ducasse, D., Bogliani, M., Gamundi, J. C., Trumper, E., Frana, J., Perotti, E., Fava F. y Mastrángelo, M. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. (1ª ed.). Ediciones INTA.
- https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2149/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Andrade_FH_Desafios_agricultura_argentina.pdf
- Andriolo, J. L., Luz, G. L. D., Witter, M. H., Godoi, R. D. S., Barros, G. T. & Bortolotto, O. C. (2005). Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Horticultura Brasileira*, 23, 931-934. <https://www.scielo.br/j/hb/a/PVhqXmJcL44v9mwLkPcHMrB/?lang=en>
- Aquino, S. (2022). Intensificación sostenible en producción de hortalizas y su contribución a los objetivos de desarrollo sustentable. IDIA21. Año 2 N° 2. INTA, Argentina
- Argente, M. L., Fonseca, R. I., Garatuza, P. J., Yépez, G. E. y González, A. J. (2017). Efecto de la salinidad en callos de variedades de trigo durante el cultivo in vitro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 477-488.
- Aruani, M. C., Gili, P., Fernández, L., González Junyent, R., 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>
- Aziz, A., Ashraf, M., Asif, M., Safdar, M. E., Shahzad, S. M., Javaid, M. M. & Munir, M. S. (2019). Impact of mulching materials on weeds dynamics, soil biological properties and lettuce (*Lactuca sativa* L.) productivity. *International Journal of Botany Studies*, 4(4), 128-134.
https://www.researchgate.net/publication/342719596_International_Journal_of_Botany_Studies_Impact_of_mulching_materials_on_weeds_dynamics_soil_biological_properties_and_lettuce_Lactuca_sativa_L_productivity
- Balcaza, L.; Frezza, D. y Grasso, R. (2022). Labores culturales. In: *Lechuga*. Buenos Aires: Ediciones INTA. p. 39. (López Bilbao, M.G. & Frezza, D. ed). ISBN 978-987-679-346. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13040>
- Balcaza, L. (2000). Importancia de la calidad del agua de riego en los cultivos bajo cubierta. Boletín electrónico, EEA INTA San Pedro.
- Baudino, E. y Siliquini, O. (2022). Lechuga y sus insectos asociados. <https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/8936/v06n1a04baudino.pdf?sequence=1>
- Beltrão, J., Trindade, D. & Correia, P. J. (1996). Lettuce yield response to salinity of sprinkle irrigation water. ISHS Acta Horticulturae 449: II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.86>
- Beltrán-Pineda, M. E. y Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Biofertilizers: Biotechnological Alternative for Agroecosystems*. 12 (1) <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Biswas, T., Bandyopadhyay, P. K., Nandi, R., Mukherjee, S., Kundu, A., Reddy, P., Mandal, B. & Kumar, P. (2022). Impact of mulching and nutrients on soil water balance and actual evapotranspiration of irrigated winter cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Agricultural Water Management*, 263(1). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107456>
- Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Oguejiofor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L. & 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>

- Boroujerdnia, M., Ansari, N. A. & Dehcordie, F. S. (2007). Effect of cultivars, harvesting time and level of nitrogen fertilizer on nitrate and nitrite content, yield in Romaine lettuce. *Asian Journal of Plant Sciences*.
- Bodner, G., Loiskandl, W. & Kaul, H. P. (2007). Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. *Agricultural water Management*, (93) 85-98.
- Bray, R. H. & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-45.
- Braos, F., Batistella Filho, M. C., Pessôa da Cruz, M. y Ferreira, E. (2019). Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching, *Scientia Horticulturae*, 255, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.032>
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen – Total. En: *Methods of Soil Analysis*, part 3. Ed. Sparks DL, Chemical Methods, 1085-1123.
- 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).
- Buyer, J. S., Baligar, V. C., He, Z. & Arévalo Gardini, E. (2017). Soil microbial communities under cacao agroforestry and cover crop systems in Peru. *Applied Soil Ecology*, 120, 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.009>
- Cambardella, C. A. & 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>
- Carassay, L. (2022). Ecofisiología del cultivo. In: *Lechuga*. Buenos Aires: Ediciones INTA. P. 19-25. (López Bilbao, M.G. & Frezza, D. ed). ISBN 978-987-679-346. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13040>
- Carassay, L. R., Siliquini, O., Bartel, A., Rebollo, A., Ponce, J. P., Collazo, M. y Baudino, E. (2013). Efecto de la salinidad sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero en la provincia de La Pampa. XXXVI Congreso Argentino de Horticultura y II Congreso Internacional de Plásticos Agrícolas. Tucumán. ISSN de la edición online 1851-9342.R 53.

- Cardoso Prieto, C. E. (2016). Evaluación de abonos orgánicos en el cultivo biológico de la cebolla (*Allium capa* L.) en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2705>
- Cardoso, C., Laurent, G., Rodríguez, R. A., Miglierina, A. M., Minoldo, G., Dagna, N. & Orden, L. (2015). Potentially Crop-N Supply from Different Organic Amendments to a Soil from the Low Valley of the Río Negro Province, Argentina. *Acta Horticulturae* 1076(1076):193-198. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1076.23>
- Cardoso, C. E., Laurent, G., Minoldo G.; Rodriguez, R. y Martínez, J. M. (2012). Estimación de N potencialmente mineralizable de diferentes enmiendas orgánicas mediante incubación anaeróbica. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Carranza, C., Lanhero, O., Miranda, D. y Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27(1), 41-48.
- Carter, D. L. (1981). Salinity and plant productivity, en: Handbook Series in *Nutrition and Food*. Chemical Rubber Co. 146-151.
- Cassman, K. G. & Munns, D. N. (1980). Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. *Soil Science Society America Journal*. 44:1233-1237.
- 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. & 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.
- Cirelli, A. F., Arumí, J. L., Rivera, D. & Boochs, P. W. (2009). Efectos Ambientales del Riego en Regiones Áridas y Semiáridas en América Latina. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69 (Supl. 1):27-40 (2009). ISSN 0718-5839
- Collazo, M. J. (2012). Efecto de dos abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. crispera var. Brisa), en un haplustoil éntico, Santa Rosa, La Pampa”. [Tesis de grado Universidad Nacional de La Pampa]. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/2105>
- Cruz Nieto, D. D., Torres, E. G. G., Montes, J. E. S., Soto, A. L. P., Flores, J. B. C. y Soto, A. R. P. (2022). Fertilización a base de residuo de mercado para mayor rendimiento de

- lechuga (*Lactuca sativa* L.). Una alternativa sostenible. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 6(17), 336-345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.172>
- De Grazia, J.; Tittonell, P. A. & Chiesa, A. (2001). Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). In: *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*. INIA, España. Vol. 16, p. 355 – 365
- Dhakal, K. & Nandwani, D. (2020). Evaluation of row covers for yield performance of the leafy green vegetables in organic management system. *Organic Agriculture*, 10(S1), 27-33. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00298-z>
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G. A. & Grove, J. H. (2002). A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- 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 Benedetto, A. (2005). “Manejo de Cultivos Hortícolas: bases ecofisiológicas y tecnológicas”. Cap. 2. Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C. (2020). Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Demir, Z. & 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.
- Duval, M. E., Galatini, J. A., Iglesias, J. O., Canelo, S., Martínez, J. M. & 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. & Galantini, 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 Galantini, 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., De Lucía, M., Rodríguez, E., Kriger, A., Rodríguez, L., & Bouza, M. E. (2021). Cultivos de servicios para eficientizar el uso del agua en zonas semiáridas. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/157493>
- Duval, M. E., Moises, J. Martínez, J. M., García, R. J. y Galantin, J. A. (2022). Dinámica de las fracciones orgánicas en suelos enmendados con residuos agroindustriales. XXVIII Congreso Argentino Ciencia del Suelo- Buenos Aires.
- Eghball, B., Wienhold, B. J., Gilley, J. E. & Eigenberg, R. A. (2002). Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(6), 470-473. https://www.researchgate.net/publication/43259889_Mineralization_of_Manure_Nutrients
- Escobosa García, I., Vázquez Medina, M. M., Samaniego Gámez, B. Y., Valle Gough, R. E., Vázquez Angulo, J. C. & Núñez Ramírez, F. (2022). Efecto del acolchado en repollo cultivado en el Valle de Mexicali. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13, 197-206.
- FAO. (2012). El estado mundial de la agricultura y de la alimentación y la agricultura, 2012. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3028s>
- FAO. (2023). El estado de la alimentación y la agricultura: Gestión integrada de los recursos hídricos. <https://www.fao.org/3/nm092es/nm092es.pdf>.
- FAO. (2020). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. *Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d3a6e93a-26b6-41b4-9b36-39f674618b7c/content>
- Felipe Morales, C. (2002). Manejo Agroecológico del suelo en sistemas andinos en Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas Sudamericanas. Buenos Aires. <http://www.lamolina.edu.pe/Postgrado/pmdas/cursos/agroecologia/lecturas/MANEJO%20AGROECOL%C3%93GICO%20DEL%20SUELO%20EN%20SISTEMAS%20ANDINOS.pdf>
- Fernández, R., Frasier, I., Noellemeyer, E. & Quiroga, A. (2017). Soil quality and productivity under zero tillage and grazing on Mollisols in Argentina - A long-term study. *Geoderma Regional*, 11, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.09.002>

- Francescangeli, N. & Mitidieri, M. (2006). El invernadero hortícola estructura y manejo de cultivos. 2da ed. INTA. p. 46.
- Fuentes Yagüe, J.L. (1995). Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura. España.
- Galantini, 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/galantini_17-26.pdf
- Galantini, J. A., Senesi, N., Brunetti, G. & 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>
- Galantini, J. A. & Rosell, R. A. (2006). Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Till. Res.* 87, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.032>
- Galantini J. A. (2005). Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En L. Marban y S. Ratto, *Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios*, 103-114. (Editorial-AACS). <https://www.researchgate.net/publication/259230427>
- Galantini J. A. (2008). Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. 1ra edición. Universidad Nacional del Sur - Ediuns, 2008. <https://www.researchgate.net/publication/259230427>
- Galantini, J. A., Duval, M. E., Martínez, J. M., Mora, V., Baigorri, R. & 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 y Soil Science*, 10(5), 1-12. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/25205>
- Galantini, J. A. y Sa Pereira, E. (2018). Siembra directa en el SO Bonaerense. *Captura de carbono por los cultivos de cobertura y su costo hídrico*. <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/8e12cf30-aa60-405a-b332-af3ee9ef6268/content>
- Gallardo, M., Jackson, L. E., Schullback, K., Snyder, R., Thompson, R. & Wyland, L. (1996). Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrigation Science*. 16:125–137. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02215620>
- Gianoni, C. y Eduardo, T. (2021). La I + D y la transformación del sistema alimentario: una contribución del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) a la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios 2021 de las Naciones Unidas.

- Ghosh, S., Wilson, B. R., Mandal, B., Ghoshal, S. K. & 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>
- Giobellina, B., Marinelli, V., Lobos, D., Eandi, M., Bissio, C., Butinof, M., Narmona, L. y Romero, M. (2021). Caracterización y mapeo de la producción frutihortícola de la Región Alimentaria de Córdoba. Observatorio de Agricultura Urbana, Periurbana y Agroecología, Agencia de Extensión Rural Córdoba. INTA.
- Gómez, J., Muñoz, R. y Rodríguez, M. (2017). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- Grasso, A. R., Muguiro, A. A., Ferratto, A. J., Mondino, A. M. C. y Longo, A. A. (2006). Manual de producciones hortícolas. p 5. <https://agrolalibertad.gob.pe/wp-content/uploads/informacion-tecnica/fichas-tecnicas/agricola/manualhorticola.pdf>
- Grismer, M. E. y Bali, K. M. (2018). Agua salina drenada para la producción de cultivos. ANR Publicación 8410. Universidad de California, Agricultura y Recursos Naturales.
- Hernández, T., Chocano, C., Coll, M. D. & 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>
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M. y Ojeda Veloz, A. (2006). Cultivo protegido de las hortalizas: Medio ambiente y sociedad. *Ciencia y Tecnología* 10, 30. 26-31p.
- Jarecki, M., Grant, B., Smith, W., Deen, B. & Drury, C. (2018). Long-term Trends in Corn Yields and Soil Carbon under Diversified Crop Rotations. *Journal of Environmental Quality*, 47(4), 635-643. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.08.0317>
- Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa. <https://recursosnaturales.lapampa.edu.ar/>
- Iocoli, G. A., Pieroni, O. I., Gómez, M. A., Alvarez, M. B. & 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>
- Keesstra, S. D., Rodrigo Comino, J., Novara, A., Giménez Morera, A., Pulido, M., Di Prima, S. & Cerdà, A. (2019). Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and

- erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. *An assessment using rainfall simulation experiments*, 174, 95–103.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.007>
- Kim, D. H., Kang, Y. J., Choi, J. J., & Yun, S. I. (2020). Lettuce growth and nitrogen loss in soil treated with corn starch carbamate produced using urea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 53(1), 13-21. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.1.013>
- Kurunc, A. (2021). Effects of water and salinity stresses on growth, yield, and water use of iceberg lettuce. *Journal of the Science of food and Agriculture*.
<https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.11223>
<https://doi.org/10.1002/jsfa.11223>
- Lang, M. Lipinski, V. y Balcaza, L. (2013). Efecto de la aplicación de enmienda y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. *Horticultura Argentina* 32 (79): 32-42.
- Lang, M. (2016). Efecto de la aplicación de enmiendas y manejo del riego en suelos de la región semiárida pampeana sobre el rendimiento de lechuga bajo invernadero. [Tesis (M. Sc.). Universidad Nacional de Cuyo. 102 p].
<http://hdl.handle.net/20.500.12123/5236>
- Leguizamón, E. S. (2018). Historia de la horticultura. Ediciones INTA. p. 49.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_asaho_historia_horticultura.pdf
- Lenscak, M. P. y Iglesias, N. (2019). Invernaderos: Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54). INTA Ed. IPAF Región Pampeana.
- Lense, G. H. E., Parreiras, T. C., Moreira, R. S., Avanzi, J. C. & Mincato, R. L. (2021). Effect of spatial-temporal variation of land use and land cover on soil erosion. *Revista Caatinga*, 34(1), 90–98. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021V34N110RC>.
- Li, R., Li, Q. & Pan, L. (2021). Review of organic mulching effects on soil and water loss. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(1), 136–151.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1718111>.
- López, F. M., Duval, M. E., Martínez, J. M. y Galantini, J. A. (2015). Cobertura en el Sudoeste Bonaerense en suelos bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 33 (2) 273-281
- Maas, E. (1986). Salt tolerance of plant. *Applied Agricultural Research* 1, 12-26.
- Machet, J. M., Pierre, D., Recous, S. & Remy, J. C. (1987). Signification du coefficient reel d'utilisation et consequences pour la fertilisation azotée des cultures. C.R. *Academia Agrícola*. Fr. 73: 39-55.

- Malik, A., Gul, S., Buriro, A. H., Kakar, H. & 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. y López, F. M. (2016). Indicadores de mineralización de nitrógeno en el sudoeste bonaerense: relación con las fracciones orgánicas del suelo. *Rev. Ci. Agron.* 26, 50-57.
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E., López, F. M. y Iglesias, J. O. (2017). Ajustes en la estimación de carbono orgánico por el método de calcinación en Molisoles del sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 35: 181-187.
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E., Landriscini, M. R., García, R. J. & 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
- 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. ISBN: 978-987-46870-3-6. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/189833>
- Marrare, A., Draghi, L., Palancar, T., Barrenechea, M., Andreau, R., Martínez, S., Sarli G. y Cerisola, C. (2011). Fertilidad física del suelo bajo invernadero. *Revista Horticultura Argentina* 30(73)2011
- Maroto Borrego, J. V. (2000). Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. p. 208-214.
- Marouani, A., Sahli, A. & Ben Jeddi, F. (2013). Efficiency of nitrogen use by seasonal potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 18, 2785–2801. <https://www.m.elewa.org/JAPS/2013/18.3/Abstract2-amel.html>
- 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.utalca.cl/handle/1950/9554>

- Mantuano Morales, M. A. y Zambrano Gavilanes, F. (2023). *Revista Biotempo*: ISSN Versión Impresa: 1992-2159; ISSN Versión electrónica: 2519-5697. doi:10.31381/biotempo.v20i2.5742 en <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/348/618>
- Mihelič, R., Pečnik, J., Glavan, M. & Pintar, M. (2021). Impact of Sustainable Land Management Practices on Soil Properties: Example of Organic and Integrated Agricultural Management. *Land*, 10(1), 8. <https://doi.org/10.3390/land10010008>
- Ministerio de la Producción del Gobierno de La Pampa. (2011). Encuesta hortícola provincial. p. 5.
- Moisés, J., Gómez, M. y Galantini, J. A. (2018). Aplicación de residuos agroindustriales biotransformados a cultivos intensivos: Evaluación de las técnicas de caracterización y de sus efectos sobre el suelo y sobre el cultivo. Plan proyecto de tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6638>
- 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. ISSN 1850-2067. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/205374>
- Mola, I. D., Mori, M. & Chiaranda, F. Q. (2013). Interaction between salinity and crop cycle: effect on yield and quality of lettuce. 3, 63-68. https://www.researchgate.net/publication/234100464_Interaction_between_salinity_and_crop_cycle_effect_on_yield_and_quality_of_lettuce
- Mostafa, N. A., El-Sherpiny, M. A., Elmakarm, A. & 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.
- Mubarak, A. R., Gali, E. A., Mohamed, A. G., Steffens, D. & 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.
- Muguiro, F. A. (2014). Rehabilitación de suelos con impedimentos físicos de uso hortícola degradados por riego con aguas bicarbonatadas sódicas. [Tesis (M. Sc.) en Cultivos Intensivos. Universidad Nacional del Litoral].
- Mulumba, L. N. & Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 98(1), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.011>.

- Novara, A., Cerda, A., Barone, E. & Gristina, L. (2021). Cover crop management and water conservation in vineyard and olive orchards. *Soil and Tillage Research*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104896>
- 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, trópico húmedo*. 28(1):27-37. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n1/v28n1a3.pdf>
- Ortega, J. F.; De Juan, J. A.; Tarjuelo, J. M.; Merino, R. y Valiente, M. (1999). Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: aplicación a la agricultura de regadío de la provincia de Toledo. In: *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*. INIA, España. 14, 325 – 354.
- 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. & 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-Agriambi*, 17(4).
- Pla Sentis, I. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4):50-63. WASWAC.
- Pineda Abella, M. (2014). Prácticas de manejo para una horticultura saludable y sustentable. http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=practicas_de_manejo_para_una_horticultura_saludable_y_sustentable&id=2059
- Pizarro Cabello, F. (1990). Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 2da edición. Madrid. Ediciones. MundiPrensa. 471 p.
- Prieto, D., y Angueira, C. (1996). Calidad de agua para riego. Módulo II. Curso a distancia de “Métodos de riego”. INTA-Procadis. Programa clima y agua. 94 p.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E. & Peinemann, N. (2005). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil y 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
- Reyes Salvador, A. G. y Soller Ruiz, L. (2013). Efecto de la fertilización nitrogenada y de la materia orgánica en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv whithe boston improved. y las propiedades del suelo en condiciones de tapo-Huaribamba. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/154>
- Reyes Sanchez, L. B., Horn, R. & 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>
- Roberto, Z, Tulio, J. y Malán, J. (2008). Cartografía de agua subterránea para uso ganadero en La Pampa. Publicación Técnica N° 73. EEA Anguil, INTA. 25 pp.
- 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>
- Roarty, S., Hackett, R. A. & Schmidt, O. (2017). Earthworm populations in twelve cover crop and weed management combinations. *Applied Soil Ecology*, 114, 142-151.
- Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H. I., García Batista, R. M. y Quezada Mosquera, A. J. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Universidad y Sociedad*, 12(5), 389-398. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1724>.
- Rosas, J. T. F., Junior, E. M., Lorenzoni, R. M., Santos, F. F. L. D., & Martins, R. N. (2019). Effect of salinity on germination of lettuce cultivars produced in Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International*, 34(5), 1-8.
- Ruihuan, E., Yongxiang, Y., Chaorong, G. & 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. (2018). 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. & 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>
- Sánchez, F. I. y Delgado, J. L. R. (2008). Efecto de la aplicación del compost sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En Compostaje. Mundi Prensa Libros SA. p305-328. ISBN 978-84-8476-346-8.
- Setia, R., Marschner, P., Baldock, J., Chittleborough, D., Smith, P. & Smith, J. (2011). Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1908-1916. https://www.academia.edu/download/47628146/Salinity_effects_on_carbon_mineralization20160729-18507-s1aohm.pdf
- Si, P., Liu, E., He, W., Sun, Z., Dong, W., Yan, C. & Zhang, Y. (2018). Effect of no-tillage with straw mulch and conventional tillage on soil organic carbon pools in Northern China. *Arch. Agron. Soil Sci.* 64(3), 398-408
- Siliquini, O. A., Pereyra Cardozo, M., Lobartini, J. C., Orioli, G. A., Quiriban, A. E., Ponce, J. P. y Riestra, D. R. (2017). Tolerancia de plantines de distintos genotipos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) al riego con agua de alto contenido en sales. 2017. SEMIÁRIDA *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam* 27(2): 59:66 ISSN 23624337. 6300. Santa Rosa Argentina. ISSN 24084077. DOI: [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2017\(02\).5966](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2017(02).5966)
- Siliquini, O., Gregoire, H. y Scarone, J. (2001). Evolución de la producción hortícola en la provincia de La Pampa. XXIV Congreso Argentino de Horticultura. Jujuy Resúmenes. *Horticultura Argentina*, 20, 48.
- Silva, P., Vergara, W. y Acevedo, E. (2015). Rotación de cultivos. *Rastrojos de cultivos y residuos forestales*. Edición C. Ruiz. 308, 48-67. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7856>.
- Spedaletti, M. S. (2015). Evaluación de la influencia del manejo en la evolución del perfil de salinidad en huertas bajo cubierta de la localidad de Santa Rosa, provincia de La Pampa. [Tesis (grado), Universidad Nacional de La Pampa].
- Tahiri, Ai., Raklami, A., Bechtaoui, N., Anli, M., Boutasknit, A., Oufdou, K. & 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>

- Thompson, T. L. & Doerge, T. A. (1996). Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated lettuce. Agronomic, economic and environmental outcomes. *Soil Science Society. American Journal*, 60, 168-173.
- Unluekara, A., Cemek, B., Karaman, S. & Erşahin, S. (2008). Response of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) to salinity of irrigation water. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 36(4), 265-273.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01140670809510243>
- 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].
- Volonteri, H. & Jonas, O. (1981). La determinación del N en materiales biológicos. *Bol. Centro Pampeano de Estudios en Cs. Naturales y Agronómicas*, (2) 23–30.
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8485>
- Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Snyder, R., Chen, Y., Zhao, Y. & Yan, Q. (2018). Effects of straw mulching on microclimate characteristics and evapotranspiration of drip-irrigated winter wheat in North China Plain. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), 122–131.
<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3192>.
- Xu, X., Shi, Z., Li, D., Rey, A., Ruan, H., Craine, J. M., Liang, J., Zhou, J. & Luo, Y. (2016). Soil properties control decomposition of soil organic carbon: Results from data assimilation analysis. *Geoderma*, 262, 235-242.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115300677>
- Yaganoglu, E., Senol, N. D. & Yerli, C. (2023). Enhancing soil properties and crop growth in varied-texture soils: evaluating the efficacy of biochar in mitigating irrigation water salinity. *Environmental Engineering and Management Journal*, 22(7), 1157-1172.
<http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2023.096>
- Yu Zhu, L., Xue Lian B., Shi Xin, T., Cheng Jun, G., Hang Tu, X., Hong Bo, H., Carsten, W. M. & 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).
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109399>
- Zhang, S., Wang, Y., Sun, L., Qiu, C., Ding, Y., Gu, H., Wang, L., Wang, Z. & Ding, Z. (2020).

Organic mulching positively regulates the soil microbial communities and ecosystem functions in tea plantation. *BMC Microbiology*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01794-8>

Zribi, W., Faci, J. M. y Aragües R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información técnica económica agrarian*, 107(2), 148-162. <http://hdl.handle.net/10532/1796>

8. ANEXO. FOTOS DURANTE EL ENSAYO.



Foto 1: Ubicación del sitio del ensayo.



Foto 2: Tratamientos con cobertura vegetal y sin cobertura vegetal.

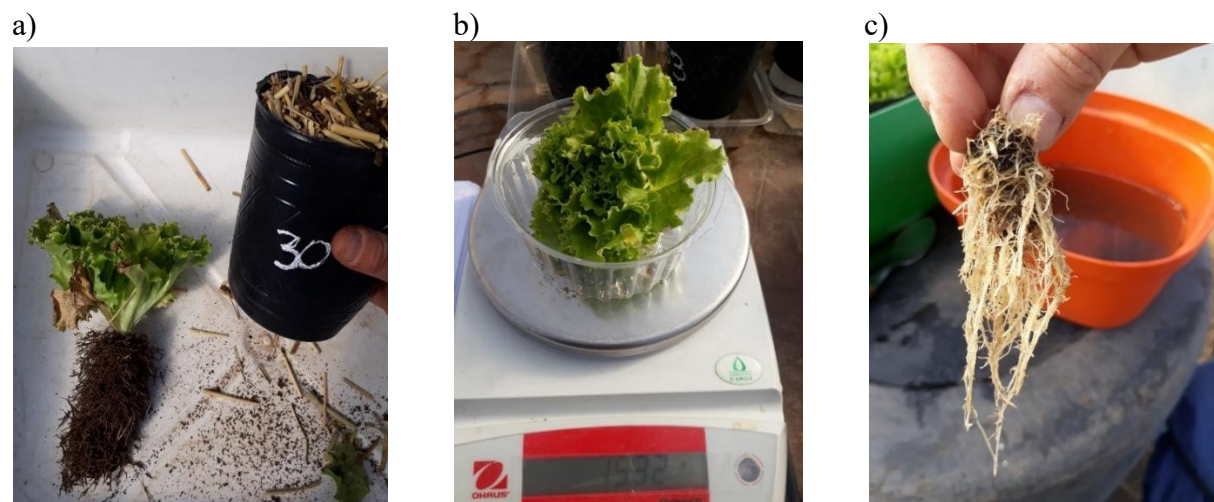


Foto 3: Cosecha del cultivo y medición de la materia seca a) total; b) aérea y c) radicular.



Foto 4: Diseño experimental del ensayo.

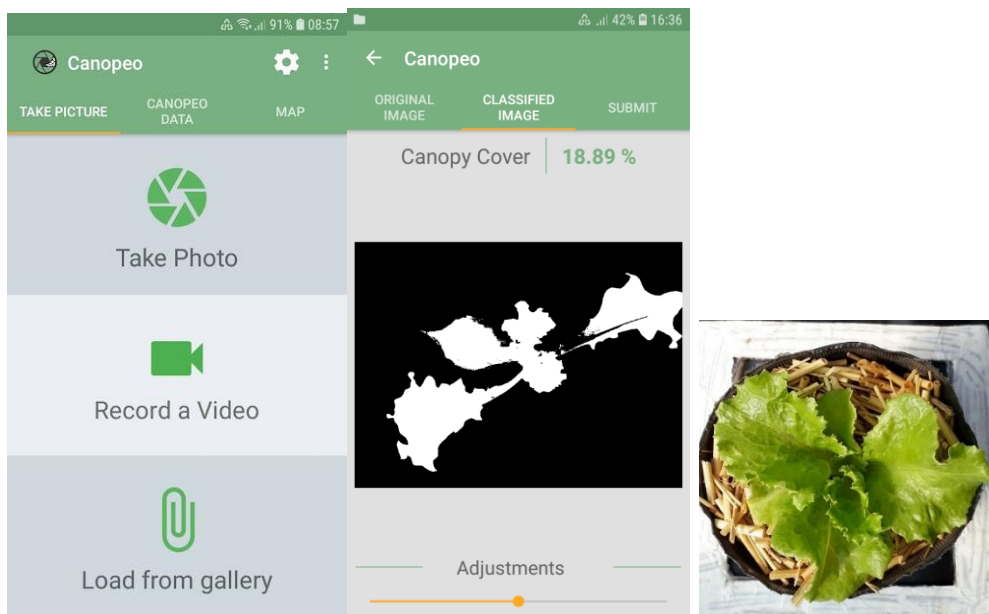


Foto 5: Aplicación “Canopeo” utilizada en el ensayo.

9. ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LOS SUELOS EVALUADOS.

Tabla: Caracterización química del suelo utilizado en las macetas.

Profundidad Cm	Textura	MO %	IMO	P ppm	pH 1:2,5	CE dS m ⁻¹	CIC
0-10	FRANCO ARENOSO	2,5	5,8	28,9	6,6	0,7	11,7
10-20		2,3	5,1	23,1	6,7	0,7	12,7
0-10	ARENOSO	1,4	12,5	34,7	7,1	0,6	5,9
10-20		1,3	12,2	23,7	7,1	0,8	5,5

Tabla: Caracterización física del suelo utilizado en las macetas.

Textura	PMP	CC	CRA	Infiltración mm/h
ARENOSO	5	10	7	176
FRANCO ARENOSO	12,5	20	9	61

PMP, punto de marchitez permanente. CC, capacidad de campo. CRA, capacidad de retención de agua.

Tabla: Agregación de los suelos utilizados en las macetas.

ARENOSO						FRANCO ARENOSO					
>8	4-8	3-4	2-3	< 2	IEE	>8	4-8	3-4	2-3	< 2	IEE
8,2	4,1	1,7	1,3	84,7	3,3	47,3	10,0	7,3	5,7	29,7	0,99

IEE, índice de estabilidad estructural.

10. ANEXO 3. PUBLICACIONES LOGRADAS

Huespe, D. S., Galantini, J. A. y Álvarez, C. (2022). Efecto de la estación del año sobre la lechuga regada con agua de diferente calidad en suelos del centro de la pampa. XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires.

Huespe, D.S., Galantini, J.A. y Álvarez, C. (2022). Efecto acumulado de la calidad del agua de riego sobre la lechuga en suelos texturalmente diferentes. XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires.

Huespe, D. S., Galantini J. A. y Álvarez, C. (2023). Calidad del agua y abono orgánico en lechuga: Producción de materia seca. VII Congreso de la Red Argentina de Salinidad II Simposio Latinoamericano de Salinidad. VIIRAS2023-Actas (2).pdf - Google Drive

Huespe, D., Galantini J. A., Baraldi, L. y Álvarez, C. (2023). Calidad del agua y abono orgánico en lechuga: Fracciones orgánicas. VII Congreso de la Red Argentina de Salinidad II Simposio Latinoamericano de Salinidad. VIIRAS2023-Actas (2).pdf - Google Drive

Huespe, D., Álvarez, C., Galantini, J. A., Baraldi, L. y Costantino, C. (2023). Calidad del agua y abono orgánico en lechuga: Sales en el suelo. VII Congreso de la Red Argentina de Salinidad II Simposio Latinoamericano de Salinidad. VIIRAS2023-Actas (2).pdf - Google Drive

Huespe, D., Galantini, J. A., Álvarez, C. y Baraldi, L. (2024). Influencia del agua y abono sobre las fracciones orgánicas en suelos de La Pampa. Ciencia del Suelo. *Ciencia Del Suelo*, 42(2). Recuperado a partir de <https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/865>

Huespe, D. S., Galantini, J. A. y Álvarez, C. (2024). Calidad de agua de riego y uso de cobertura en suelos de textura contrastantes: productividad del cultivo de lechuga. Boletín Hortícola Pampeano (10), 4-12. <https://www.agro.unlpam.edu.ar/images/BHP%20N%C2%B010%20Mayo%202024.pdf>

Huespe, D. S., Galantini, J. A. y Álvarez, C. (2024). Cobertura vegetal en lechuga: efecto sobre la producción y eficiencia de uso del agua y nitrógeno. *Semiárida*, 35(1), 55–63. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2025\(1\).55-63](https://doi.org/10.19137/semiarida.2025(1).55-63)

Huespe, D. S., Galantini, J. A., Baraldi L. M., Costantino, C. y Álvarez, C. (2024). Cobertura vegetal y agua salina en suelos de diferente textura: calidad de lechuga. XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. https://drive.google.com/drive/folders/1H8Fhx82d2_zhbEnrQBYEzM8BC_5KyEZv?usp=sharing

Huespe, D. S., Galantini, J. A. y Álvarez, C. (2024). Cobertura vegetal y uso de agua salina en suelos de diferente textura: fuente nitrogenada. XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. https://drive.google.com/drive/folders/1H8Fhx82d2_zhbEnrQBYEzM8BC_5KyEZv?usp=sharing

Huespe, D. S., Galantini, J. A, y Álvarez, C. (2025). Uso de cobertura vegetal y agua salina en la producción de lechuga. Revista FAVE. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, (24), e0034. <https://doi.org/10.14409/fa.2025.24.e0034>

Huespe, D. S., Galantini, J. A. & Álvarez, C. (2025). Effect of season and irrigation water quality on lettuce productivity in La Pampa, Argentina. *Horticultura Argentina*. 44 (114): 35-45. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/ehq0bbjlp>

Huespe, D. S., Galantini, J. A, y Álvarez, C. Effect of organic and inorganic nitrogen sources on lettuce. V Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales y IX International Symposium of Agricultural and Agroindustrial Waste Management. **Enviado**. Mar del plata 4-7 noviembre 2025.