

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“NIVELES DE SALINIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN EL
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* var.
Longifolia), EN SUELO ARENOSO”**

Presentado por:

OLGA LISSETT NICHOL PRETELL

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima – Perú

2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la vida y regalarme fortaleza para concluir esta investigación.

Agradezco a mis padres por su incondicional apoyo durante mi formación educativa y en lo personal. Son unos excelentes maestros de vida.

A mi patrocinadora M.Sc Rocio del Pilar Pastor Jauregui , ya que sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de esta tesis. Gracias por sus enseñanzas durante mi etapa como estudiante en la UNALM.

A la Sra. Sonia Chanduví y al Sr. Alan Santivañez , gracias a su especial apoyo durante el trabajo de campo y la logística que demandó esta investigación.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	5
1.1	GENERALIDADES	5
1.2	OBJETIVOS	6
1.2.1	Objetivo general.....	6
1.2.2	Objetivos específicos	6
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1	SUELOS SALINOS Y SUS EFECTOS EN LOS CULTIVOS	7
2.2	AGUA SALINA Y SU EFECTO EN EL CULTIVO	10
2.3	INVESTIGACIONES DE USO DE AGUA SALINAS EN LOS CULTIVOS	15
2.4	CULTIVO DE LECHUGA ROMANA.....	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1	MATERIALES	18
3.1.1	Ubicación del campo experimental	18
3.1.2	Agua.....	18
3.1.3	Sustrato	19
3.1.4	Semillas.....	19
3.1.5	Materiales y reactivos	19
3.2	PROCEDIMIENTO.....	20
3.2.1	Trabajos preliminares	20
3.2.2	Preparación de macetas.....	20
3.2.3	Siembra	21
3.2.4	Preparación de soluciones salinas.....	22
3.2.5	Aplicación de las soluciones salinas como agua de riego	22
3.2.6	Determinación de la conductividad eléctrica del suelo	22
3.2.7	Determinación de la longitud de planta	23
3.2.8	Determinación del peso fresco y seco	23
3.2.9	Humedad.....	24

3.2.10	Análisis foliar.....	24
3.2.11	Análisis Estadístico.....	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1	PESO MATERIA FRESCA	25
4.1.1	Peso total.....	25
4.1.2	Peso aéreo fresco	26
4.1.3	Peso radicular fresco.....	27
4.2	PESO DE MATERIA SECA.....	29
4.2.1	Peso total seco.....	29
4.2.2	Peso aéreo de la materia seca.....	30
4.2.3	Peso radicular seco	31
4.3	LONGITUD DE LA PLANTA	32
4.3.1	Longitud total.....	32
4.3.2	Longitud de la parte aérea.....	33
4.3.3	Longitud radicular	34
4.4	CONTENIDO DE HUMEDAD	36
4.4.1	Contenido de humedad total	36
4.4.2	Contenido de humedad de la parte aérea	37
4.4.3	Contenido de humedad de la parte radicular	38
4.5	CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA.....	39
4.5.1	Concentración de calcio.....	39
4.5.2	Concentración de magnesio	41
4.5.3	Concentración de sodio.....	42
4.5.4	Concentración de potasio.....	43
4.5.5	Concentración de sulfatos.....	45
4.5.6	Concentración de cloruros	46
4.6	VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE SALINIDAD EN EL SUELO	47
V.	CONCLUSIONES	48
VI.	RECOMENDACIONES	50
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
VIII.	ANEXOS.....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Iones solubles.....	7
Tabla 2:	Clasificación de suelos salinos.....	8
Tabla 3:	Tolerancia de los cultivos a la salinidad	11
Tabla 4:	Riesgo de Salinidad.....	12
Tabla 5:	Clasificación U.S. Salinity Laboratory	13
Tabla 6:	Clasificación FAO	13
Tabla 7:	Clasificación de las aguas de riego por su salinidad efectiva (SE).....	14
Tabla 8:	Clasificación de las aguas de riego por su salinidad potencial (SP)	14
Tabla 9:	Datos climáticos de la Estación Davis 2016 UNALM	18
Tabla 10:	Caracterización del agua de riego	19
Tabla 11:	CE según tratamiento	22
Tabla 12:	Peso total de la materia fresca.....	25
Tabla 13:	Peso aéreo fresco.....	26
Tabla 14:	Peso radicular de la materia fresca.....	27
Tabla 15:	Peso total de la materia seca	29
Tabla 16:	Peso de la materia seca aérea	30
Tabla 17:	Peso la materia seca radicular	31
Tabla 18:	Longitud total de la planta	32
Tabla 19:	Longitud aérea de la planta	34
Tabla 20:	Longitud radicular de la planta	35
Tabla 21:	Contenido de humedad total de la planta.....	36
Tabla 22:	Contenido de humedad de la parte aérea de la planta.....	37
Tabla 23:	Contenido de humedad de la parte radicular de la planta	39
Tabla 24:	Concentración de calcio	40
Tabla 25:	Concentración de magnesio	41
Tabla 26:	Concentración de sodio.....	43
Tabla 27:	Concentración de potasio	44
Tabla 28:	Concentración de sulfatos	45
Tabla 29:	Concentración de cloruros	46

ANEXOS

Anexo 1:	Tolerancia a la salinidad de cultivos seleccionados en relación con su rendimiento Potencial y salinidad del agua de riego	54
Anexo 2:	Análisis estadístico del peso fresco total	56
Anexo 3:	Análisis estadístico del peso fresco aéreo	57
Anexo 4:	Análisis estadístico del peso fresco radicular	58
Anexo 5:	Análisis estadístico del peso seco total	59
Anexo 6:	Análisis estadístico del peso seco aéreo.....	60
Anexo 7:	Análisis estadístico del peso seco radicular	61
Anexo 8:	Análisis estadístico de la longitud total	62
Anexo 9:	Análisis estadístico de la longitud aérea	63
Anexo 10:	Análisis de la longitud radicular	64
Anexo 11:	Análisis estadístico del contenido de humedad total	65
Anexo 12:	Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte aérea	66
Anexo 13:	Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte radicular.....	67
Anexo 14:	Análisis estadístico de la concentración de calcio	68
Anexo 15:	Análisis estadístico de la concentración de magnesio	69
Anexo 16:	Análisis estadístico de la concentración de sodio	71
Anexo 17:	Análisis estadístico de la concentración de potasio	72
Anexo 18:	Análisis estadístico de la concentración de sulfatos	73
Anexo 19:	Análisis estadístico de la concentración de cloruros.....	74

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la tolerancia de la lechuga Romana (*Latuca sativa var. Longifolia*) a las sales, debido a que la salinidad limita los cultivos en general y particularmente las hortalizas por su alta sensibilidad. Se trasplantaron 21 plántulas de lechuga a macetas con suelo de textura arenosa puestas a campo abierto, las cuales se regaron con agua de diferente concentración de sales: 0,75; 1,4; 2,1; 3,4; 4,4; 6 y 7 dS.m⁻¹. Se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento; el riego fue dado según las necesidades hídricas de la planta durante todo el periodo vegetativo. Después de la cosecha se midieron los parámetros: peso fresco, peso seco, longitud de planta, humedad de planta y la concentración de elementos foliares, para poder corroborar si la salinidad afectó los parámetros de calidad del cultivo. Se encontró que con la conductividad de 4,4 dS.m⁻¹ en el agua de riego (T5) se obtuvo el mejor peso total fresco de 250,47 g. La mayor longitud de planta fue de 21,5 cm que se obtuvo con el tratamiento mencionado. Con el tratamiento 3, de 2,1 dS.m⁻¹ de concentración salina, se obtuvo el mayor peso seco de 24,66 g. La mayor concentración de los elementos foliares para cada tratamiento fue: calcio 1,05 por ciento, magnesio 0,33 por ciento en el tratamiento 2, de 1,4 dS.m⁻¹; la mayor concentración de cloro, sodio y sulfato hallada fue de 2,94; 1,81 y 0,99 por ciento, respectivamente, en el tratamiento 7 de 7 dS.m⁻¹, y la mayor concentración de potasio fue de 3,71 por ciento, con el tratamiento 5, de 4,4 dS.m⁻¹. El mejor desarrollo del cultivo se obtuvo con el tratamiento tres, de 2,1 dS.m⁻¹, ya que obtuvo el mayor peso seco, sin embargo, el cultivo no se vio afectado significativamente por ninguno de los tratamientos aplicados.

Palabras claves: agua de riego, conductividad eléctrica, lechuga, salinidad, suelo arenoso

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the tolerance of the Roman lettuce (*Latuca sativa* var. *Longifolia*) to the salts, because the salinity limits the crops in general and particularly herbaceous plants because of their high sensitivity. Twenty one seedlings of lettuce were transplanted to open field pots with sandy textured soil, which were irrigated with water of different concentration of salts: 0.75; 1.4; 2.1; 3.4; 4.4; 6 and 7 dS.m⁻¹. Three replicates were performed for each concentration; irrigation was given according to the water requirements of the plant throughout the vegetative period. After harvesting, the following parameters were measured: fresh weight, dry weight, plant length, plant moisture, and leaf element concentration, in order to assess whether the salinity affected the quality parameters of the crop. It was found that with the conductivity of 4,4 dS.m⁻¹ in the irrigation water (T5) the best fresh total weight of 250,47 grams was obtained. The largest plant length was 21,5 cm was also obtained with the mentioned treatment. A saline concentration of 2.1 dS.m⁻¹ yielded the highest dry weight of 24.66 grams in treatment 3. The highest concentration of foliar elements for each treatment was: calcium 1,05 percent, magnesium 0,33 percent in treatment 2 of 1,4 dS.m⁻¹; the highest concentration of chlorine, sodium and sulfate found was 2,94; 1,81 and 0.99 percent, respectively, in treatment 7 of 7 dS.m⁻¹, and the highest potassium concentration was 3,71 percent with treatment 5 of 4,4 dS.m⁻¹.

The best crop development was obtained with treatment three of 2,1 dS.m⁻¹ as it obtained the highest dry weight. However, the crop was not significantly affected by any of the treatments applied.

Keywords: electric conductivity, irrigation water, lettuce, salinity, sandy soil.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Para los seres humanos, los alimentos, el agua y el refugio forman parte de las necesidades físicas básicas, por esta razón la agricultura se desempeña como una actividad económica fundamental en todo el mundo; conforme aumenta la población humana, la demanda de alimentos también aumenta. Esta actividad se rige por diversos factores tales como el clima, el relieve y el tipo de suelo; y está limitada por la disponibilidad del recurso hídrico y los suelos aptos para el cultivo, es decir agrícolas.

La costa peruana tiene grandes zonas áridas (desiertos) que presentan problemas de drenaje y sales; pese a ello, actualmente vienen siendo utilizados de forma intensiva un porcentaje pequeño de su totalidad. Estos suelos son los mejores explotadas del Perú; en algunos sectores, donde se ejecutaron obras de irrigación, se permitió alcanzar dos cosechas al año en lugar de una, aumentándose la productividad agrícola de la costa peruana.

La salinización es el proceso que genera un aumento excesivo en el suelo de sales solubles. Estas contienen principalmente cloruro y sulfato de sodio, en menor proporción contienen potasio, magnesio, sulfato, carbonato y bicarbonato. Existen dos procesos de salinización: primaria y secundaria. La primaria implica la acumulación de sales a través de procesos naturales debido a un alto contenido de sal en el material base del suelo o en el agua subterránea; en cambio, la secundaria es causada por las intervenciones humanas tales como las prácticas de riego inadecuadas.

La demanda creciente de vegetales se viene dando en toda Europa y la lechuga romana (*Lactuca sativa var. Longifolia*) es muy consumida en este continente ya que posee un sabor agradable. Los suelos no aprovechados de la costa pueden ser utilizados para cubrir los requerimientos de este mercado, fomentando la exportación de este cultivo. Por ejemplo el mercado de alimentos de Alemania necesita de importaciones al igual que Francia y esta demanda va en aumento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el rendimiento de la producción de lechuga romana ante siete niveles de salinidad en el agua de riego, en un suelo de textura arenosa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la relación existente entre la conductividad eléctrica del agua de riego y longitud total, peso fresco y peso seco del cultivo de lechuga romana.
- Determinar el contenido de los elementos foliares: K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- y SO_4^{-2} en la materia seca para evaluar la absorción de estos elementos en el cultivo.
- Hallar la relación entre la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que se obtiene al final de la evaluación y los parámetros analizados.
- Determinar el nivel de salinidad del agua de riego con el cual el desarrollo del cultivo de lechuga romana es afectado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SUELOS SALINOS Y SUS EFECTOS EN LOS CULTIVOS

Fuentes, J. (1999) enunció que los suelos salinos son aquellos que poseen un exceso de sales solubles, lo cual dificulta o impide el desarrollo de los cultivos. La solubilidad de estas sales, a 25 C°, es de 2,6 gramos por litro de agua y están compuestas por los iones mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Iones solubles

Cationes	Aniones
Calcio (Ca ²⁺)	Cloruro (Cl ⁻)
Magnesio (Mg ²⁺)	Sulfato (SO ₄ ²⁻)
Sodio (Na ⁺)	Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)
Potasio (K ⁺)	Carbonato (CO ₃ ²⁻)

Fuente: Elaborado con base en Fuentes, J. 1999.

Las sales en el suelo pueden provenir de muchas fuentes; una parte provienen de la meteorización de los minerales, los cuales constituyen parte de la corteza terrestre. Otra fuente son producto de actividades de riego, el agua se filtra hasta el subsuelo y con el pasar del tiempo esta agua irá ascendiendo arrastrando las sales hacia las capas superiores del suelo.

La salinidad del suelo se mide por la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe). Se dice que un suelo es salino cuando presenta una CEe mayor a 2 dS.m⁻¹ y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor a 15 por ciento. Estos valores indican que es poco probable que se pueda llevar a cabo el normal desarrollo de los cultivos debido al efecto osmótico de las sales disueltas.

La salinidad reduce la tasa de crecimiento, obteniéndose hojas más pequeñas, menor altura y a veces menos hojas. El efecto inicial y primario de la salinidad, especialmente de bajas a moderadas concentraciones, se debe a sus efectos osmóticos (Munns y Termaat, 1986).

La clasificación de suelos salinos se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de suelos salinos

Salinidad	CEe (dS/m)
Ligera	2 - 4
Mediana	4 - 8
Fuerte	8 - 16
Extrema	> 16

Fuente: Elaborado con base en Fuentes, J. 1999.

Salisbury y Ross (2000), indican que la reacción fisiológica de las plantas a la salinidad es disminuir la conductancia estomática; de esta manera la transpiración se reduce, evitándose la sequía fisiológica para mantener la turgencia de las células. La reducción de la conductancia estomática implica el cierre de los estomas y se relaciona, entre otros factores (luz, humedad, CO₂, temperatura y corrientes de aire), con la disminución del potencial de agua foliar, incluso por encima de la luz intensa. El cierre de los estomas reduce el ingreso de CO₂, inhibiendo la fotosíntesis, dando como resultado la reducción en la síntesis de fotosintatos. La consecuencia es la disminución en la producción de biomasa, como raíces, hojas, tallos y semillas, relacionados con el área foliar y la longitud de plantas.

Fuentes, J. (1999), menciona que uno de los efectos que puede ocasionar la salinidad a los cultivos es el aumentar el potencial osmótico de estos, lo que ocasiona que los cultivos necesiten hacer un mayor esfuerzo para poder absorber el agua hasta llegar al punto en el cual la planta no podrá absorber agua, aún aunque esta esté disponible. Sin embargo, las plantas halófitas tienen la facultad de aumentar por sí mismas la presión osmótica de sus células, generando así una diferencia de presiones entre la solución del suelo y la planta, lo cual facilita a la planta la absorción de agua.

Otro efecto que ocasiona las sales a la planta es la toxicidad, debido a que algunos iones son absorbidos por la planta en exceso, aun cuando la cantidad de los iones encontrados en el suelo son menores a la cantidad necesaria para causar perjuicios. Los iones que pueden causar un mayor daño son el cloro, el sodio y el boro.

Lutemberg (2014), en una conferencia ofrecida por la Autoridad Nacional del Agua, mencionó el efecto de las sales en cada etapa de desarrollo de las plantas. En la fase de plántula, por lo general la planta es más sensible a las sales que en las fases posteriores. En la fase de crecimiento del tallo la planta es más sensible al estrés salino que en la etapa del desarrollo de la raíz; porque el tallo aumenta bajo condiciones de salinidad.

Goicochea (2012) menciona, que al evaluar la productividad de un suelo salino, se debe tener en cuenta que los criterios de evaluación pueden variar su comportamiento en función a una serie de factores que alteran de forma significativa los resultados de las tablas de reducción de cosecha. Los factores que influyen son la variabilidad que puede presentar la muestra de suelo seleccionada para realizar el análisis de la salinidad, las técnicas de cultivo aplicadas, las diferentes condiciones de humedad del perfil del suelo, los comportamientos variables según las clases de sales existentes, o la selección de especies y variedades adaptadas a las condiciones de salinidad e incluso la relación entre la concentración de las sales durante las distintas fases del desarrollo de los cultivos.

Las técnicas de riego utilizadas lavan las sales y afectan el equilibrio salino de la solución del suelo, en especial cuando se emplea la fertirrigación. Además hay que tener en cuenta que el uso de fertilizantes eleva el contenido de ciertas sales, como las derivadas del potasio o nitratos.

Mass y Hoffman (1977) establecieron una relación lineal existente entre la salinidad del suelo y la disminución de la producción en los cultivos (Fig. 1):

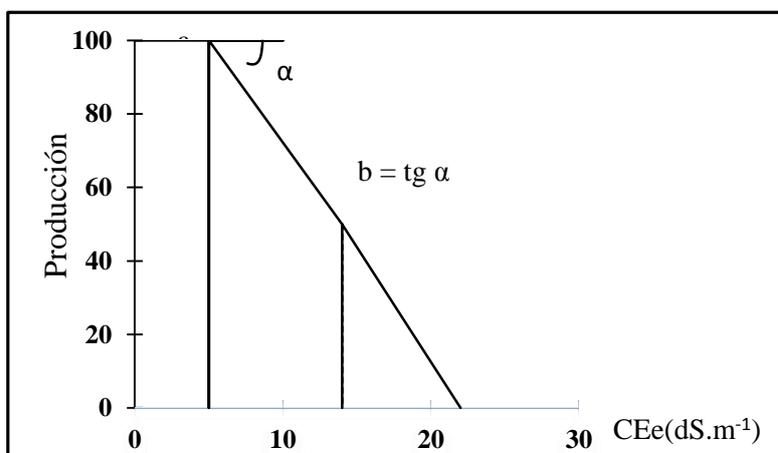


Figura 1: Relación producción vs CEe

Fuente: Tomado de Mass y Hoffman 1977.

La relación es:

$$P = 100 - b(CEe - a) \leq 100 \quad (1)$$

Donde:

P = producción del cultivo con respecto al máximo (%)

CEe = conductividad eléctrica del extracto de saturación ($dS \cdot m^{-1}$)

a y b = parámetros cuyos valores son constantes para cada cultivo

La conductividad para la cual la producción es 100% es representado por a , que es definido como el umbral de salinidad de cada cultivo. El tramo inclinado es considerado como el % de disminución de C_{Ee} que supere el valor de a (expresa la sensibilidad del cultivo a los aumentos de salinidad (Goycochea, 2012).

Los parámetros a y b varían según el cultivo, así como los valores de producción P para diferentes C_{Ee}, los cuales están expresados en el anexo 01, donde se puede observar la disminución del rendimiento (en porcentaje) de diversos cultivos regados con agua de diferentes salinidades.

Según ellos, para el cultivo lechuga, los parámetros son $a = 1,3 \text{ dS.m}^{-1}$ y $b = 13$ por ciento. Para una concentración de $0,9 \text{ dS.m}^{-1}$ del agua de riego hay 0 por ciento de disminución del rendimiento del cultivo; con $1,4 \text{ dS.m}^{-1}$ hay 10 por ciento de disminución del rendimiento; con $2,1 \text{ dS.m}^{-1}$ en el agua de riego hay 25 por ciento de disminución en el rendimiento del cultivo; para $3,4 \text{ dS.m}^{-1}$ existe un 50 por ciento en la disminución del rendimiento y con una concentración de $6,0 \text{ dS.m}^{-1}$ en el agua de riego hay 100 por ciento de disminución en el rendimiento del cultivo de lechuga.

2.2 AGUA SALINA Y SU EFECTO EN EL CULTIVO

Una medida importante que se debe conocer del agua para el rendimiento del cultivo es la conductividad eléctrica (CE), que se mide en unidades de decisiemens por metro (dS.m^{-1}). Cuanto mayor sea la CE, mayor es el nivel de concentración de sales solubles en el agua y por tanto es más difícil utilizar el agua para cultivar plantas. La salinidad afecta el crecimiento principalmente por la reducción de la capacidad de las plantas para absorber agua.

Hill y Koenig (1999) estudiaron la respuesta del rendimiento de los cultivos a diferentes salinidades de agua y lo resumen en la calidad del agua para la agricultura, clasificando los cultivos en cuatro grupos principales: sensibles, moderadamente sensibles, moderadamente tolerantes o tolerantes a la salinidad en las aguas de riego. La lechuga se encuentra dentro del grupo de los cultivos sensibles.

Fuentes, J. (1999), indica que el empleo de aguas salinas en el riego puede llegar a ser un riesgo para los cultivos si se acumulan las sales del agua de riego en el suelo en límites peligrosos ya que por medio de la evaporación el agua se consume tanto en la planta como en el suelo, pero las sales casi no varían, por esta razón la concentración aumenta. En

regiones donde la lluvia es abundante no existe problemas de sales ya que estas se lavan, pero en regiones áridas o semiáridas, como las de la costa peruana, donde la lluvia es escasa, hay que tener un programa de riego que permita lavar las sales constantemente.

Lutemberg (2014), presentó valores de los cultivos frente a la salinidad, como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3: Tolerancia de los cultivos a la salinidad

Tolerancia	CE en la cual la pérdida de producción empieza(dS/m)
Sensible	< 1,3
Moderadamente sensible	1,3 - 3,0
Moderadamente tolerantes	3,0 - 6,0
Tolerante	6,0 - 10,0

Fuente: Elaborado con base en Lutemberg 2014.

Hay dos factores importantes para evaluar la calidad del agua de riego, uno es la concentración de sales disueltas y el otro factor es el tipo de sales. Los problemas que podría ocasionar un mal control de la calidad de agua según Fuentes, J. (1999) son:

- Efecto osmótico: se produce por la cantidad de sales que se hayan en la solución del suelo. Lo que ocasiona este efecto osmótico recibe el nombre de salinidad.
- Reducción de la velocidad de infiltración del agua: es ocasionado por un bajo contenido de calcio y un contenido alto de sodio, lo cual significa que las partículas del suelo tienden a disgregarse.
- Toxicidad: debido a algunos iones que puede contener el agua de riego, estos se acumulan en la planta en concentraciones suficientemente altas las cuales ocasionan una reducción en el rendimiento de la cosecha.

Lutemberg (2014) señaló los factores importantes a tener en cuenta en la calidad del agua de riego para los cultivos.

- Total de sales solubles (TSS) de agua de riego: tiene que estar en nivel bajo.
- Relación de adsorción de sodio (RAS): relación favorable entre calcio (Ca^{+2}) + magnesio (Mg^{+2}) versus sodio (Na^{+2}).
- Elementos tóxicos como boro (B) y bicarbonato (HCO_2): tienen que estar por debajo de los niveles críticos.

Schwarz, mencionado por Balcázar, J. (1989), reportó una reducción de 10 a 15 por ciento en la cosecha de lechuga cuando se utilizaba agua salina con una concentración de $4,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para el desarrollo del cultivo. Schwarz utilizó el mismo tratamiento en pepino y tomate, encontrando que estos tenían un sabor ligeramente más dulce en comparación con aquellos cultivos que eran regados con agua proveniente del canal. Otra respuesta que observó en el tratamiento fue que los cultivos que estaban sometidos a presiones osmóticas mayor a 10 atmósferas durante cortos periodos de tiempo, no fueron tóxicos en comparación con los cultivos sometidos a presiones osmóticas de 4 o 5 atmósferas durante largos periodos de tiempo.

Goldeberg y Shmueli (1968), mencionados en por Balcázar, J. (1989), observaron que el cultivo de tomate llevado a cabo en el desierto de Arava, Israel, utilizando agua salina de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de concentración, obtuvo una productividad de $58,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Diferentes instituciones han clasificado las aguas salinas según la aptitud de los cultivos, en función a su conductividad eléctrica; una de ellas fue dada en 1954 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la cual se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4: Riesgo de Salinidad

Índice	CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Riesgo de salinidad
C1	0,1 - 0,25	Bajo
C2	0,25 - 0,75	Medio
C3	0,75 - 2,25	Alto
C4	2,25 - 4,0	Muy alto
C5	> 4,0	Excesivo

Fuente: Elaborado con base en USDA 1954.

- Agua de baja salinidad (C1): puede usarse para riego de la mayor parte de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad que desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero este se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.
- Agua de salinidad media (C2): puede usarse cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

- Agua altamente salina (C3): no puede usarse en suelos con drenaje deficiente. Con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo seleccionar únicamente especies vegetales muy tolerantes a las sales.
- Agua muy altamente salina (C4): no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias especiales. Los suelos deben ser muy permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr buen lavado. Se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.
- Agua de salinidad excesiva (C5): solo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.

En el año 1972, United State Salinity Laboratory (USLS) propuso otra clasificación para las aguas salinas presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5: Clasificación U.S. Salinity Laboratory

CE (dS.m⁻¹)	Riesgo de salinidad
< 0,75	Bajo
0,75 - 1,5	Medio
1,5 - 3,0	Alto
> 3,0	Muy alto

Fuente: Elaborado con base en USLS 1972.

FAO (Ayers, R.; Westcot, D. 1985), presenta una clasificación de aguas salinas, similar a la realizada por la Universidad de California. Se puede apreciar los valores en la Tabla 6:

Tabla 6: Clasificación FAO

CE (dS.m⁻¹)	Riesgo de salinidad
< 0,7	Sin problemas
0,7 - 3,0	Problemas crecientes
> 3,0	Problemas serios

Fuente: Elaborado con base en Ayers, R.; Westcot, D. 1985.

Goicochea (2012) indica que la salinidad efectiva (SE) es un criterio para clasificar el agua de riego. Es un parámetro de estimación más real del peligro de las sales solubles del agua al pasar a formar parte de la solución del suelo. El cálculo de esta variable depende de la cantidad de iones presentes en el agua, expresados en meq.L⁻¹.

- Si $Ca > CO_3 + HCO_3 + SO_4$
SE = suma de cationes – ($CO_3 + HCO_3 + SO_4$)
- Si $Ca < CO_3 + HCO_3 + SO_4$ pero $Ca > CO_3 + HCO_3$
SE = suma de cationes – (Ca)
- Si $Ca < CO_3 + HCO_3$ pero $Ca + Mg > CO_3 + HCO_3$
SE = suma de cationes – ($CO_3 + HCO_3$)
- Si $Ca + Mg < CO_3 + HCO_3$
SE = suma de cationes – (Ca + Mg)

La Tabla 7 muestra la clasificación del agua de riego de acuerdo a los resultados que derivan del cálculo de la salinidad efectiva.

Tabla 7: Clasificación de las aguas de riego por su salinidad efectiva (SE)

Clase	SE (meq.L ⁻¹)
Buena	< 3
Condicionada	3 - 15
No recomendable	> 15

Fuente: Tomado de Goicochea 2012:58.

Señala además que otro criterio para indicar el contenido de sales en el agua de riego es la salinidad potencial (SP). Cuando la humedad aprovechable total del suelo es menor al 50 por ciento, las últimas sales que quedan en la solución son los cloruros y los sulfatos, que tienden a aumentar la presión osmótica. La SP es un mejor estimador del efecto de las sales sobre las plantas y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$SP = Cl + \frac{1}{2}SO_4$$

La Tabla 8 presenta la clasificación de las aguas de riego de acuerdo a los resultados que se obtienen del cálculo de la salinidad potencial.

Tabla 8: Clasificación de las aguas de riego por su salinidad potencial (SP)

Clase	SP (meq/l)
Buena	< de 3
Condicionada	de 3-15
No recomendable	> 15

Fuente: Tomado de Goicochea 2012:59.

2.3 INVESTIGACIONES DE USO DE AGUA SALINAS EN LOS CULTIVOS

Balcázar (1989) estudió el desarrollo de la lechuga con sistema de riego por goteo en condiciones controladas, utilizando también fertilizantes que aumentaban el nivel de sales. Utilizó 3 niveles de salinidad en el agua de riego (1,23; 3,30 y 4,30 dS.m⁻¹), encontrando que el mejor rendimiento del cultivo fue dado con el tratamiento de 3,3 dS.m⁻¹, a partir de este valor los parámetros área foliar y longitud del área verde empezaron a descender.

El Centro Agropecuario de Marengo en Colombia, en el año 2009, realizó el análisis de crecimiento de la lechuga en un suelo salino, utilizando como medio de cultivo un terreno con CE de 2,16 dS m⁻¹ y el agua de riego 0,95 dS m⁻¹. Al finalizar el estudio se encontró que el peso seco total y el área foliar presentaron un incremento progresivo a través del tiempo hasta alcanzar un máximo de 27,44 g.

En China se llevó a cabo un estudio del agua de riego con niveles de salinidad de 0,8; 2 y 5 g.L⁻¹, para conocer el impacto del riego con agua salina en el rendimiento y la calidad de 2 especies de cucurbitáceas chinas, el melón (*Cucumis melo* cv. *Huanghe*) y la sandía (*Citrullus lanatus. megulaspemus convar*). Los resultados mostraron que los rendimientos de melón y de sandía disminuían según aumentaba la salinidad del agua, pero a pesar que estos cultivos tuvieron bajos rendimientos restringidos por el riego con agua salina, la calidad del fruto no se vio influida, como también para los aminoácidos de la fruta. El hecho que el agua de riego salino es factible para el melón y la sandía muestra que el agua salina es un recurso potencial de agua de riego en zonas áridas (Zong *et al.*2009:35).

Salaverry (2014) estudió el desarrollo de la acelga aplicando 20 niveles de salinidad en el agua de riego (desde 0,76 dS.m⁻¹ hasta 38 dS.m⁻¹). Las plántulas fueron cultivadas en almacigueras y posteriormente se trasplantaron a macetas. Se pudo apreciar en los resultados una disminución del peso seco y del peso fresco a partir de 6 dS.m⁻¹ y 8 dS.m⁻¹ en el agua de riego, respectivamente, sin embargo se mostró un incremento desde los niveles más bajos hasta los niveles indicados. El agua de riego afectó de forma severa el peso seco de la zona radicular, en comparación con la zona aérea; el tamaño de la planta fue reduciéndose según se iban incrementando los niveles de salinidad en el agua de riego.

López (2015) estudió el desarrollo de la rúcula bajo 6 niveles de salinidad (desde 0,78 dS.m⁻¹ hasta 18 dS.m⁻¹). Las plántulas fueron cultivadas en almacigueras, luego se trasplantaron a macetas. La disminución del peso seco y del peso fresco ocurre desde 5 dS.m⁻¹ en el agua de

riego; también se afectó el peso de la zona radicular a partir del nivel de salinidad antes mencionado, en comparación con la zona aérea.

2.4 CULTIVO DE LECHUGA ROMANA

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) es una planta herbácea anual, sus orígenes se remontan a la antigüedad aproximadamente 2 500 años, los antiguos romanos y griegos ya la conocían pero no existían todos los cultivares que hay en la actualidad. La lechuga se consume todo el año: en hogares, en hoteles, en restaurantes; tanto cruda como cocida. Posee un tallo corto carnoso de 2 a 5 cm, en el cual se insertan las hojas; esta especie puede no formar cabeza, teniendo así forma, número, dimensiones y colores variables según la variedad botánica del cultivar.

La clasificación taxonómica de la lechuga es:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Lactuca* L.

Especie: *Lactuca Sativa* L.

Shimizu y Scott, mencionados por La Rosa, O. (2015), indican que el sistema radicular es denso y superficial, normalmente pivotante, alcanzando una profundidad máxima de 60 cm, con numerosas raíces laterales en los primeros 30 cm. El cultivo se inicia en almácigo y al realizar el trasplante se rompe la dominancia apical y hay fácil regeneración de raíces adventicias, resultando un sistema radicular más ramificado y superficial.

Cáceres, mencionado por Balcázar, J. (1989), indica que las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo floral de la lechuga deteriorándose rápidamente su calidad, debido a una acumulación de látex amargo en los haces vasculares. El sistema radicular de la lechuga no es muy extenso, por lo que los suelos deben ser sueltos en la superficie, con alta retención de humedad y buen drenaje.

Cerdas y Montero (2004) afirman que la lechuga es muy susceptible al agua, esto se debe a que una gran parte de la superficie del cultivo está expuesto al ambiente, por lo que el riego debe realizarse en las primeras o últimas horas del día; los síntomas de la lechuga cuando empieza a perder agua se refleja en la pérdida de firmeza y turgencia en las hojas, es decir, pierden su apariencia fresca y se ven marchitas.

Cross, S. (2012) menciona que la lechuga romana (*Lactuca sativa var. Longifolia cv. Paris Island Cos*), también conocida como Cos, tiene color verde oscuro, hojas largas y con una textura crujiente y sabor profundo; en la gastronomía es un ingrediente en las ensaladas César y primavera. Este cultivar posee tallos sueltos con hojas alargadas y estriadas. Tarda entre cinco y siete días la germinación de las semillas de esta lechuga, si se les riega adecuadamente. La fase plántula se produce después que las semillas germinan y tiene una duración aproximada de dos semanas, es la fase en que la planta se encuentra en su etapa más delicada. Esta variedad cuenta con sistemas de raíces más profundas que otras variedades de lechuga de hoja y necesita mucho espacio y humedad para un desarrollo óptimo. Luego que la plántula desarrolle sus primeras hojas verdaderas, inicia el estado vegetativo que dura aproximadamente 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas, el suelo y el riego. El sistema radicular se expande desplegando sus hojas maduras; a diferencia de la lechuga americana, la lechuga romana crece vertical y no en una bola. Una vez concluido el estado vegetativo, entra en la etapa de floración donde se producen cambios químicos que vuelven las hojas amargas al gusto. Este período dura otros 30 días.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación del campo experimental

La presente investigación se realizó al lado de la caseta de control de riego presurizado de la Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), cuya ubicación geográfica es:

- Latitud Sur : 12° 4' 46"
- Longitud Oeste : 76° 56' 58"
- Altitud : 238 m.s.n.m.

Los datos climatológicos (Tabla 9) se obtuvieron de la Estación Davis, perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos de la FIA y corresponden a los meses que duró la fase experimental.

Tabla 9: Datos climáticos de la Estación Davis 2016 UNALM

Mes	T° media (°C)	HR Media (%)	Precipitación (mm)	Tanque de evaporación (mm)
Abr	22,8	81	0,0	81,9
May	19,9	85	0,0	56,6
Jun	17,0	91	1,0	32,9
Jul	16,5	91	0,9	23,9

3.1.2 Agua

Para preparar las soluciones salinas se usó agua del canal Huachipa que también es utilizada para regar los campos y jardines de la UNALM. La caracterización físico-química se muestra en la Tabla 10.

La conductividad eléctrica del agua con que se prepararon los tratamientos es ligeramente salina, con una CE de 0,75 dS.m⁻¹. El RAS calculado fue de 0,77, corroborando que el agua es baja en sodio y presenta condiciones favorables para su uso en riego.

Tabla 10: Caracterización del agua de riego

Parámetro	Unidades	Valor
CE	dS.m ⁻¹	0,75
pH	-	7,68
Calcio	meq/l	4,52
Magnesio	meq/l	0,74
Sodio	meq/l	1,26
Potasio	meq/l	0,09
Suma de cationes	meq/l	6,61
Cloruros	meq/l	0,73
Sulfatos	meq/l	2,96
Bicarbonatos	meq/l	2,81
Nitratos	meq/l	0,02
Carbonatos	meq/l	0,08
Suma de aniones	meq/l	6,60
RAS	-	0,77
Clasificación	-	C2-S1
Boro	ppm	0,38

3.1.3 Sustrato

El sustrato que se utilizó fue de textura arenosa, extraído del distrito de Ancón. El total de arena utilizada fue 140 kg.

3.1.4 Semillas

Se utilizaron semillas del cultivo de lechuga romana (*Lactuca sativa var. Longifolia*), con 90% de germinación.

3.1.5 Materiales y reactivos

- 21 macetas de 15 cm de diámetro y 18 cm de altura
- 140 kg de sustrato arenoso provenientes del distrito de Ancón
- 7 galoneras de 40 litros, para almacenar las soluciones salinas
- Agua procedente del canal Huachipa
- Cloruro de sodio

- 01 conductivímetro para medir la CE de las soluciones salinas preparadas para cada tratamiento y la CEe del suelo
- 01 probeta de plástico de 1 litro
- Ácido nitroperclórico
- Ácido clorhídrico de 0,1 N
- 1 kg de foliar verde para el abono
- Acid seed solution
- Cloruro de bario
- Cromato de potasio
- Nitrato de plata al 0,012 N
- 01 horno para secar las muestras de suelo y la materia fresca.
- 01 bomba de succión de vacío, para extraer los extractos de saturación del suelo.
- 01 moladora, para procesar las hojas para el ensayo de determinación de la concentración de elementos foliares.
- Agitador eléctrico, para homogenizar las muestras durante los ensayos.
- Equipo espectrofotómetro
- Equipo de absorción atómica

3.2 PROCEDIMIENTO

3.2.1 Trabajos preliminares

El experimento se inició compilando y revisando la información bibliográfica existente, investigaciones afines, acopio de información para el desarrollo de la investigación. Luego se definieron la concentración de sales y el número de tratamientos.

3.2.2 Preparación de macetas

Se utilizaron 21 macetas. El suelo arenoso, proveniente del distrito de Ancón, fue lavado porque contenía cantidad considerable de sales y mezclado con una palana sobre una superficie plana, dejándolo secar por dos días antes de verterlo a los envases. Cada maceta se llenó con 5 kg de sustrato arenoso y representó una unidad experimental (ver Fig. 2).



Figura 2: Preparación de las macetas

3.2.3 Siembra

Las semillas de lechuga romana se sembraron en camas de almácigos (Fig. 3), hasta el nacimiento de las primeras hojas.



Figura 3: Camas de almácigos antes del trasplante

En el trasplante se colocaron 3 plántulas de lechuga por maceta, para posteriormente realizar el deshije (Fig. 4).



Figura 4: Plántulas trasplantadas

3.2.4 Preparación de soluciones salinas

Para la preparación de las soluciones salinas, el cloruro de sodio (NaCl) fue diluido en el agua proveniente del canal con $0,75 \text{ dS.m}^{-1}$ de CE. Las siete soluciones preparadas fueron corroboradas con el conductivímetro y guardadas inmediatamente en las galoneras. Los valores de la CE de cada tratamiento se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11: CE según tratamiento

Tratamiento	CE (dS.m^{-1})
T1	0,75
T2	1,4
T3	2,1
T4	3,4
T5	4,4
T6	6,0
T7	7,0

3.2.5 Aplicación de las soluciones salinas como agua de riego

Las macetas se llenaron con 4 kg de arena, procediéndose luego a saturar el sustrato para posteriormente realizar el trasplante de las plántulas de lechuga. Luego se colocó en cada maceta un kilo de arena seca, esperando 24 horas para alcanzar la capacidad de campo y poder dar inicio de los tratamientos.

Las dosis salinas fueron aplicadas a diario debido a las altas temperaturas que presentaba los meses en que se llevaba a cabo la investigación. Se aplicó una dosis diaria de 75 ml al inicio del desarrollo fenológico, posteriormente se aumentó a 78 ml hasta el final de la investigación, debido a que el último mes (Julio) la temperatura descendió. La lámina aplicada fue calculada según las necesidades hídricas del cultivo.

3.2.6 Determinación de la conductividad eléctrica del suelo

Para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CEe) se tomaron muestras de cada maceta a diferentes profundidades (superficie, medio y fondo) al inicio, a la mitad de la ejecución del experimento y en la cosecha. Las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se prepararon pastas saturadas, procediendo a la obtención por succión del extracto de saturación (Fig. 5) donde se determinó la CEe.



Figura 5: Obtención del extracto de saturación

3.2.7 Determinación de la longitud de planta

La determinación de la longitud de planta fue realizada después de la cosecha. Comprende la longitud total de la planta, es decir, hojas, tallo y raíz. También se midió por separado la longitud de raíz y por diferencia se obtiene la longitud de área verde.

3.2.8 Determinación del peso fresco y seco

- **Peso fresco:** se determinó en cada muestra inmediatamente después de la cosecha como se muestra en la *Figura 6*. Primero se obtuvo el peso fresco de toda la planta (parte aérea y raíces); luego se pesaron solo las raíces y por diferencia se obtuvo el peso fresco de la parte aérea.



Figura 6: Lechugas listas para la cosecha

- **Peso seco:** luego de introducir las plantas en bolsas de papel y en el horno a 70 °C, por 24 horas, se determinó el peso seco de toda la planta (parte aérea y raíces); luego se pesaron solo las raíces y por diferencia se obtuvo el peso seco de la parte aérea.

3.2.9 Humedad

El contenido de humedad de cada planta se determinó por diferencia entre el peso fresco y el peso seco, dividiendo la diferencia entre el peso fresco.

3.2.10 Análisis foliar

Se pesó 0,5 gr de cada tratamiento (seco y molido), haciéndolo reaccionar con ácido nitroperclórico, dejando en reposo 24 horas. Posteriormente se realizó el filtrado para conseguir la alícuota de cada muestra, las cuales se llevaron al equipo de absorción atómica del laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía, para las lecturas de los cationes calcio, sodio, magnesio y potasio.

Para la determinación de sulfatos se separaron 7 mL de extracto y se añadieron 9 mL de Acid seed solution, seguidamente se utilizó un agitador para homogenizar las muestras. Se adicionaron 4 mL de cloruro de bario y se llevaron nuevamente al agitador; luego se procedió a realizar las lecturas de tramitancia.

Los cloruros se determinaron pesando 1 gramo de muestra, la cual se colocó en un matraz Erlenmeyer. Se añadió 50 ml de agua destilada a cada matraz y se agitó por 20 minutos, se filtraron las muestras y se separaron 20 mL de alícuota a la cual se le adicionó 1 mL de cromato de potasio. Finalmente se tituló con nitrato de plata y se determinaron los gastos para hallar la cantidad de cloruros.

3.2.11 Análisis Estadístico

El análisis estadístico utilizado fue el análisis de varianza y el análisis de DUNCAN.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cosecha de las 21 macetas de lechuga romana se llevó a cabo a los 66 días, contados a partir del día en el que se realizó el trasplante. A continuación se presentan los resultados.

4.1 PESO MATERIA FRESCA

4.1.1 Peso total

En la Tabla 12 se observa el peso total fresco alcanzado por cada planta en los diferentes tratamientos, el cual comprende hojas, tallo y raíz; pesados después de la cosecha.

Tabla 12: Peso total de la materia fresca

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Pesos (g)			Peso promedio (g)
		I	II	III	
T1	0,75	214,2	178,2	199,4	197,27
T2	1,4	209,1	225,8	221,9	218,93
T3	2,1	239,4	235,9	271,1	248,80
T4	3,4	255,1	272,2	218,3	248,53
T5	4,4	278,7	239,4	233,3	250,47
T6	6,0	234,4	194,2	209,6	212,73
T7	7,0	200,2	235,5	149,5	195,07

Se aprecia que el tratamiento T5 (4,4 dS.m⁻¹) es el que posee un peso promedio mayor a diferencia de los otros tratamientos, lo que podría significar que la lechuga romana *var. Langifolia* alcanza un peso mayor cuando tiene disponible cierta cantidad de sales solubles en el suelo, pero si esta cantidad disminuye o aumenta, entonces el peso tiende a disminuir, como en el caso de los otros tratamientos. En la Fig. 7 se puede observar esta tendencia.

Las investigaciones realizada por Mass y Hoffmann (1977) indican, que para el cultivo de lechuga, el mejor rendimiento se obtiene utilizando agua hasta con una CE de 1,3 dS.m⁻¹. En esta investigación se encontró que se obtiene el mejor rendimiento utilizando agua hasta con 4,4 dS.m⁻¹ de conductividad eléctrica.

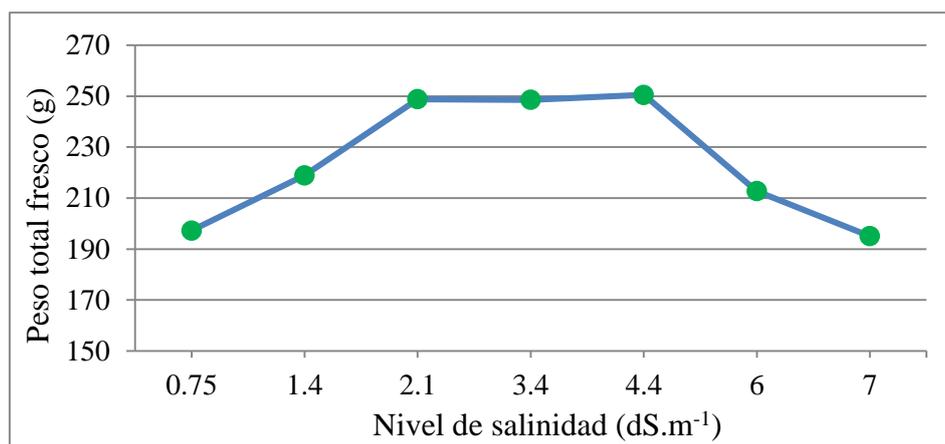


Figura 7: Variación del peso total fresco a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,86; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. Tras el análisis de varianza (Anexo 2), existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso total de materia fresca promedio. Del análisis Duncan, se puede observar que el efecto del tratamiento T5 (4,4 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente el mayor peso fresco promedio (250,47 g) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T7 (7,0 dS.m⁻¹) es el que produce el menor peso fresco promedio (195,07 g).

4.1.2 Peso aéreo fresco

Los valores del peso aéreo fresco se muestran en la Tabla 13 y se aprecian en la Fig. 8.

Tabla 13: Peso aéreo fresco

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Pesos (g)			Peso promedio (g)
		I	II	III	
T1	0,75	158,6	127,8	129,6	138,67
T2	1,4	107,4	151,5	122	126,97
T3	2,1	127,4	123,3	157	135,90
T4	3,4	134,2	138,5	92,3	121,67
T5	4,4	147,6	142,7	124,4	138,23
T6	6,0	108,0	95,7	103,5	102,40
T7	7,0	101,4	118,2	88,4	102,67

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,3; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. El análisis de varianza (Anexo 3) indica que existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en el peso fresco promedio con variaciones de los niveles de salinidad del agua de riego.

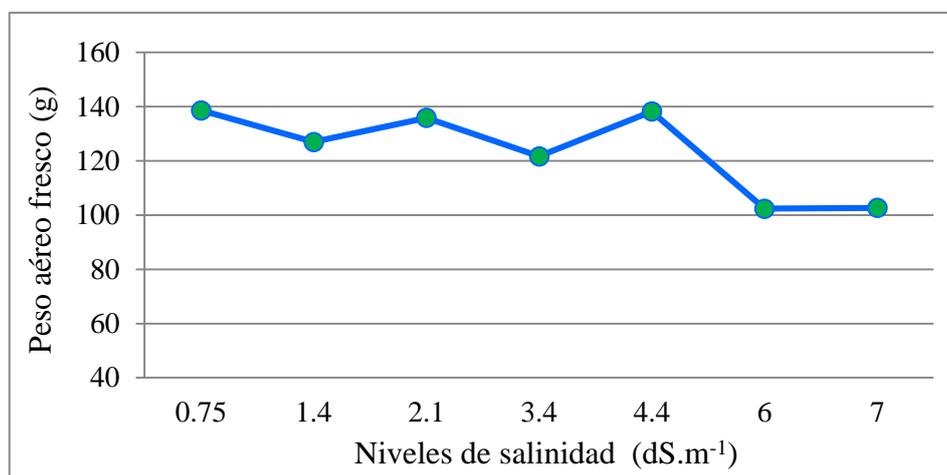


Figura 8: Variación del peso aéreo fresco a diferentes valores de salinidad

4.1.3 Peso radicular fresco

El peso radicular fresco comprende el peso de la raíz, pesada inmediatamente después de la cosecha. En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en cada tratamiento y en la Fig. 9 se representa la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 14: Peso radicular de la materia fresca

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Pesos (g)			Peso promedio (g)
		I	II	III	
T1	0,75	45,6	40,4	59,8	48,6
T2	1,4	91,7	64,3	89,9	82,0
T3	2,1	102,0	102,6	104,1	102,9
T4	3,4	110,9	123,7	116	116,9
T5	4,4	121,1	86,7	98,9	102,2
T6	6,0	116,4	88,5	96,1	100,3
T7	7,0	88,8	107,3	51,1	82,4

Las raíces se comportan como membranas semipermeables que separan dos soluciones de distinta concentración salina que poseen diferente potencial osmótico. El agua del suelo se encuentra en la parte exterior de la planta y en el interior está el agua del xilema. La concentración de sales en la solución del suelo reduce el crecimiento de la planta debido a una disminución en la absorción del agua a través de las raíces porque el movimiento del agua se reduce al aumentar la concentración de sales (López, 2015).

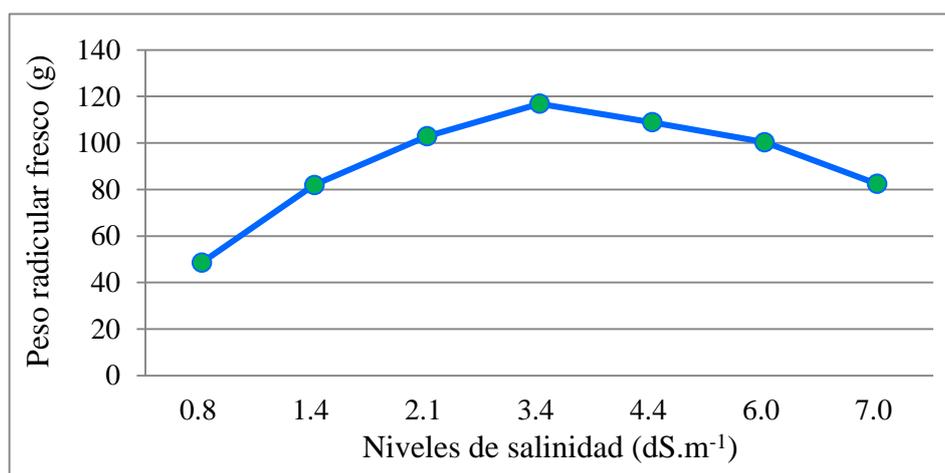


Figura 9: Variación del peso radicular fresco a diferentes valores de salinidad

Un sistema radical afectado por las sales es menos profundo, pesa menos y es menos eficiente en la absorción de nutrientes (Lutemberg, 2014). La tendencia del peso fresco radicular es disminuir conforme aumentan los niveles de salinidad; sin embargo, el mayor valor obtenido fueron las raíces regadas con agua de 3,4 dS.m⁻¹ (T4), a partir de donde los pesos radiculares fueron decreciendo.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 5,55; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso radicular fresco promedio. Del análisis Duncan (Anexo 4) se puede observar que el efecto del tratamiento T4 (3,4 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente el mayor peso radicular promedio (116,87 g) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹), es el que produce el menor peso radicular promedio (48,6 g).

4.2 PESO DE MATERIA SECA

4.2.1 Peso total seco

El peso total de la materia seca comprende hojas, tallo y raíz de cada muestra, las cuales luego de haber sido secadas en el horno por un periodo de veinticuatro horas fueron pesados. En la Tabla 15 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 10 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 15: Peso total de la materia seca

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Pesos (g)			Peso promedio (g)
		I	II	III	
T1	0,75	26,89	19,37	21,71	22,66
T2	1,4	31,91	33,71	28,68	31,43
T3	2,1	31,56	34,83	30,14	32,18
T4	3,4	29,31	31,10	31,12	30,51
T5	4,4	27,24	30,56	22,37	26,72
T6	6,0	22,91	20,31	23,05	22,09
T7	7,0	23,31	17,67	20,46	20,48

El mayor peso promedio de materia seca se presentó en el tratamiento T3 (2,1 dS.m⁻¹), obteniéndose un valor de 32,18 g. El valor los pesos totales secos decrecen hasta 20,48 g obtenido en el tratamiento T7 (7,0 dS.m⁻¹).

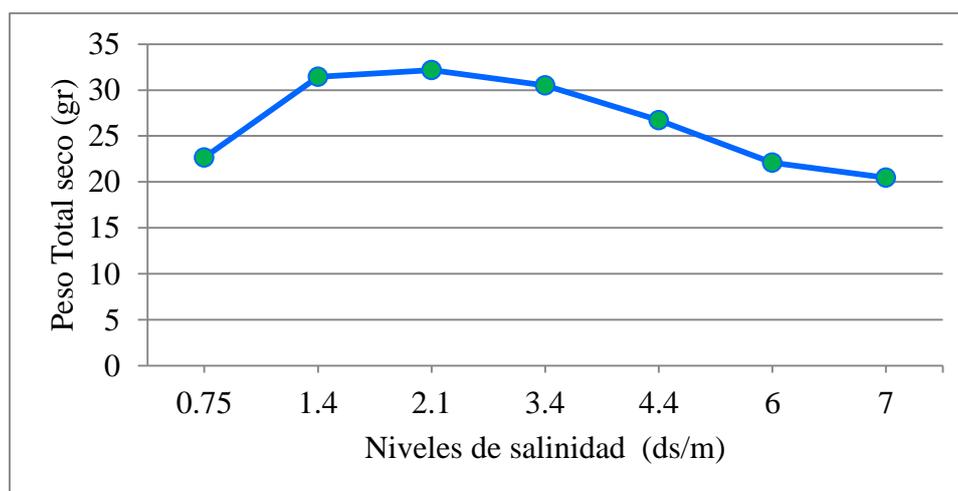


Figura 10: Variación del peso total seco a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 9,03; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso total de materia seca promedio. Del análisis Duncan (Anexo 5) se puede observar que el efecto del tratamiento T3 (2,1 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente el mayor peso seco promedio (24,66 g) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T7 (7,0 dS.m⁻¹) es el que produce el menor peso seco promedio (17,11 g).

4.2.2 Peso aéreo de la materia seca

Comprende hojas y tallo, pesados después de haber sido secados al horno. En la Tabla 16 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 11 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 16: Peso de la materia seca aérea

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Pesos (g)			Peso promedio (g)
		I	II	III	
T1	0,75	18,09	13,27	11,31	14,22
T2	1,4	12,61	14,71	13,38	13,57
T3	2,1	13,46	13,03	14,34	13,61
T4	3,4	12,91	13,30	9,12	11,78
T5	4,4	13,64	11,76	11,27	12,22
T6	6,0	10,31	10,21	9,75	10,09
T7	7,0	10,71	10,87	8,96	10,18

El mayor peso seco se presentó en el tratamiento T1 (14,22 g). Para los siguientes niveles de salinidad del agua de riego estos pesos fueron disminuyendo, hasta 10,09 g (T6).

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,67; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. Tras el análisis de varianza (Anexo 6), existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en el peso seco aéreo promedio con variaciones de los niveles de salinidad del agua de riego.

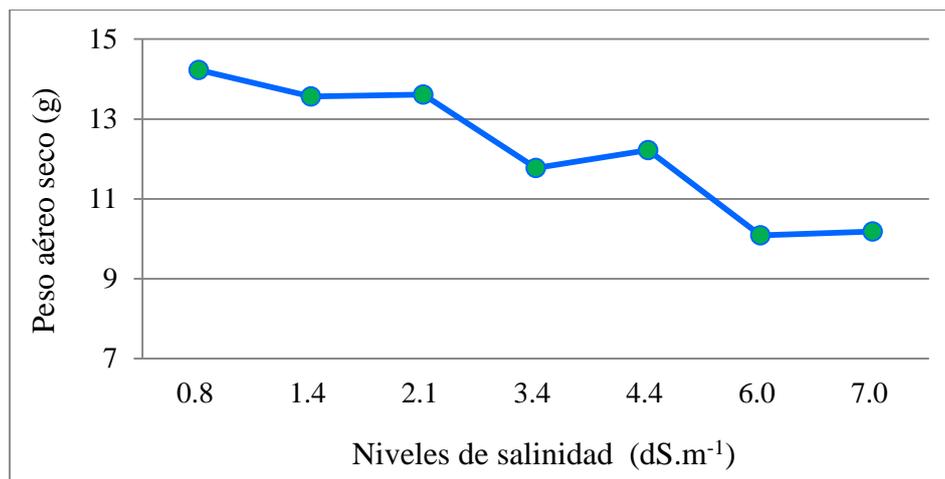


Figura 11: Variación del peso aéreo seco a diferentes valores de salinidad

4.2.3 Peso radicular seco

Comprende la raíz de cada muestra pesada después de haber sido secada en horno. En la Tabla 17 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 12 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 17: Peso la materia seca radicular

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Pesos (g)			Peso promedio (g)
		I	II	III	
T1	0,75	8,8	6,1	10,4	8,43
T2	1,4	19,3	19,0	15,3	17,87
T3	2,1	18,1	21,8	15,8	18,57
T4	3,4	16,4	17,8	22,0	18,73
T5	4,4	13,6	18,8	11,1	14,50
T6	6,0	12,6	10,1	13,3	12,00
T7	7,0	12,6	6,8	11,5	10,30

El mayor peso seco radicular se presentó en las plantas del tratamiento T4, que fueron regadas con agua de 3,4 dS.m⁻¹ de conductividad eléctrica, obteniéndose un peso seco igual a 18,73 g. El valor promedio menor se obtuvo con el tratamiento T1 (8,43 g).

El estadístico de prueba valor de F calculado es 6,75; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por lo tanto el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. Tras el análisis de varianza (Anexo 7), existe suficiente evidencia estadística

que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso radicular seco promedio. Del análisis Duncan se puede observar que el efecto del tratamiento T4 (4,4 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente el mayor peso radicular seco promedio (18,73 g) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹), es el que produce el menor peso radicular seco (8,43 g).

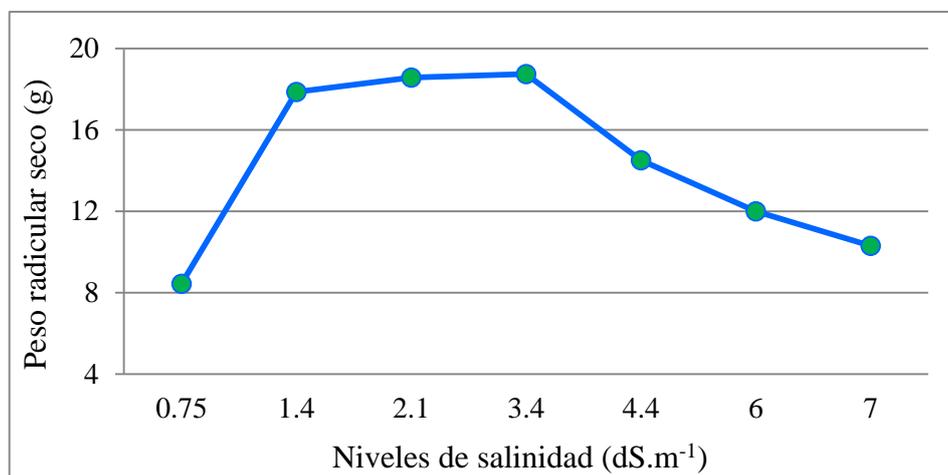


Figura 12: Variación del peso radicular seco a diferentes valores de salinidad

4.3 LONGITUD DE LA PLANTA

4.3.1 Longitud total

La longitud total de planta comprende la suma de las alturas de las hojas, el tallo y la raíz, medidas después de la cosecha. En la Tabla 18 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 13 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 18: Longitud total de la planta

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Longitud (cm)			Longitud promedio (cm)
		I	II	III	
T1	0,75	48,0	42,5	49,3	46,6
T2	1,4	45,5	45,3	41,0	43,9
T3	2,1	50,0	45,5	47,0	47,5
T4	3,4	43,6	43,0	46,0	44,2
T5	4,4	43,0	48,0	40,4	43,8
T6	6,0	39,0	38,5	40,1	39,2
T7	7,0	44,8	40,6	36,3	40,6

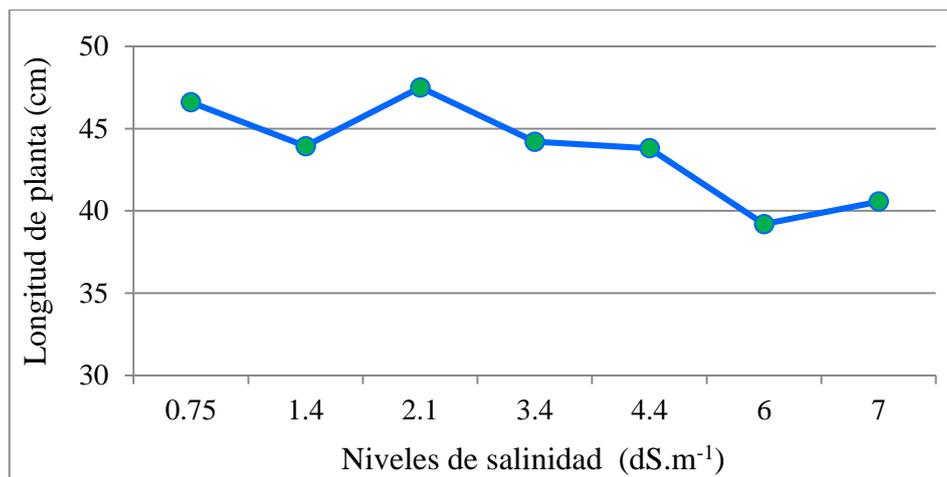


Figura 13: Variación de la longitud total a diferentes valores de salinidad

Se puede apreciar que la mayor longitud de planta fue de 47,5 cm, la cual se obtuvo con el tratamiento T3 (2,1 dS.m⁻¹), a partir de este valor los demás tratamientos tienen tendencia a disminuir de tamaño. Grenway *et al.* (1980) aseguraron que una reducción en el crecimiento de las plantas por efecto de las sales se debe a que parte de los recursos energéticos (fotosintatos) de la planta se destinan para el mantenimiento y reparación de daños celulares causados por las sales.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,4; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en la longitud total promedio cuando se varía la salinidad del agua de riego (Anexo 8).

4.3.2 Longitud de la parte aérea

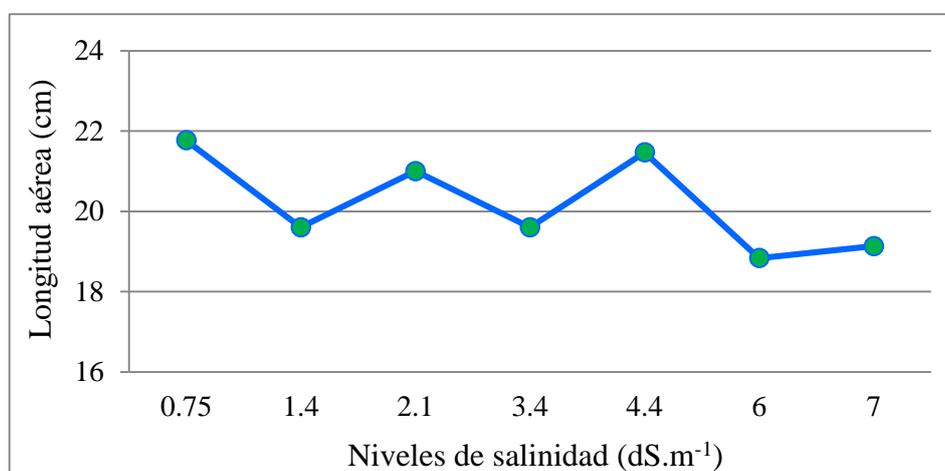
La longitud de la parte aérea comprende las hojas y el tallo, medidos después de la cosecha. En la Tabla 19 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 14 se presenta la variación de los promedios.

Las plantas del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹) fueron las que alcanzaron una mayor longitud aérea promedio (21,8 cm). A partir de este tratamiento las longitudes disminuyeron de forma no uniforme, siendo el T6 (6,0 dS.m⁻¹) donde se obtuvo la menor longitud aérea promedio (18,8 cm).

Tabla 19: Longitud aérea de la planta

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Longitud (cm)			Longitud promedio (cm)
		I	II	III	
T1	0,75	22,5	19,5	23,3	21,8
T2	1,4	19,0	21,3	18,5	19,6
T3	2,1	21,0	20,0	22,0	21,0
T4	3,4	20,3	20,0	18,5	19,6
T5	4,4	23,0	19,0	22,4	21,5
T6	6,0	19,0	17,5	20,0	18,8
T7	7,0	18,5	21,6	17,3	19,1

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,53; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en la longitud aérea promedio cuando se varía la salinidad del agua de riego (Anexo 9).

**Figura 14:** Variación de la longitud aérea a diferentes valores de salinidad

4.3.3 Longitud radicular

La longitud radicular de la planta (Fig. 15) comprende las raíces, medidas después de la cosecha.



Figura 15: Vista de la variación de la longitud radicular a diferentes valores de salinidad. En la Tabla 20 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 16 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 20: Longitud radicular de la planta

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Longitud (cm)			Longitud promedio (cm)
		I	II	III	
T1	0,75	25,5	23,0	22,5	23,7
T2	1,4	26,5	24,0	22,0	24,2
T3	2,1	23,9	25,5	25,0	24,7
T4	3,4	27,0	23,0	27,5	25,8
T5	4,4	20,0	29,0	18,0	22,3
T6	6,0	20,0	21,0	20,1	20,4
T7	7,0	26,3	19,0	19,0	21,4

La mayor longitud radicular se obtuvo en las plantas del tratamiento T4, regadas con agua de 3,4 dS.m⁻¹, cuyo valor fue de 25,8 cm. Los siguientes tratamientos tienen una tendencia a disminuir.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,4; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en la longitud radicular promedio cuando se varía la salinidad del agua de riego (Anexo 10).

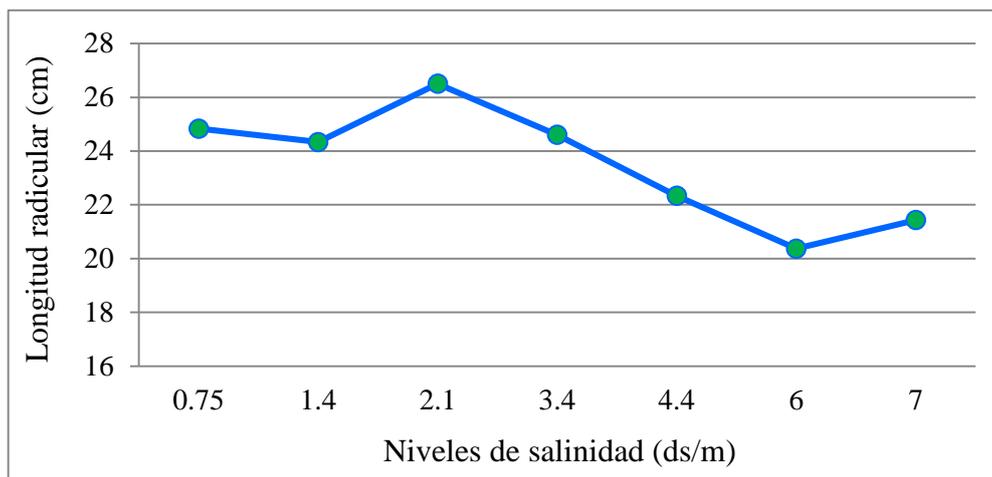


Figura 16: Variación de la longitud radicular a diferentes valores de salinidad

4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

4.4.1 Contenido de humedad total

El contenido de humedad total expresa la cantidad de agua que existe en toda la planta y comprende hojas, tallos y raíces. En la Tabla 21 se muestran los resultados del contenido de humedad, en porcentaje, retenido en la lechuga romana de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 17 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 21: Contenido de humedad total de la planta

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Contenido de humedad (%)			Humedad promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	87,4	89,1	89,1	88,5
T2	1,4	84,7	85,1	87,1	85,6
T3	2,1	86,8	85,2	88,9	87,1
T4	3,4	88,5	88,6	85,7	87,7
T5	4,4	90,9	87,2	90,4	89,6
T6	6,0	90,2	89,5	89,0	89,6
T7	7,0	88,4	92,5	86,3	89,5

Se puede observar que el contenido de humedad es mayor conforme aumenta la salinidad del agua de riego, presentándose el mayor valor en los tratamientos T5 y T6 (89,6%).

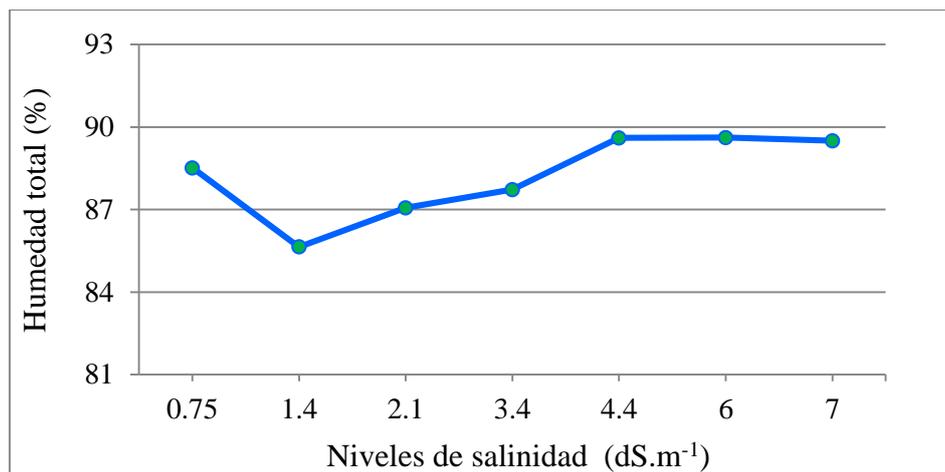


Figura 17: Variación de la humedad de la planta a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,99; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. El análisis de varianza indica que existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en la humedad total promedio con variaciones de los niveles de salinidad del agua de riego (Anexo 11).

4.4.2 Contenido de humedad de la parte aérea

El contenido de humedad de la parte aérea expresa la cantidad de agua que existe en las hojas y en el tallo. En la Tabla 22 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 18 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

Tabla 22: Contenido de humedad de la parte aérea de la planta

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Contenido de humedad (%)			Humedad promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	88,6	89,6	91,3	89,7
T2	1,4	88,3	90,3	89,0	89,3
T3	2,1	89,4	89,4	90,9	90,0
T4	3,4	90,4	90,4	90,1	90,3
T5	4,4	90,8	91,8	90,9	91,2
T6	6,0	90,5	89,3	90,6	90,1
T7	7,0	89,4	90,8	89,9	90,1

Al igual que con el contenido de humedad total, las plantas presentaron un mayor contenido de humedad aéreo conforme aumenta la salinidad del agua riego, apreciándose el valor más alto en el tratamiento T5 (4,4 dS.m⁻¹), con un valor de 91,2 por ciento.

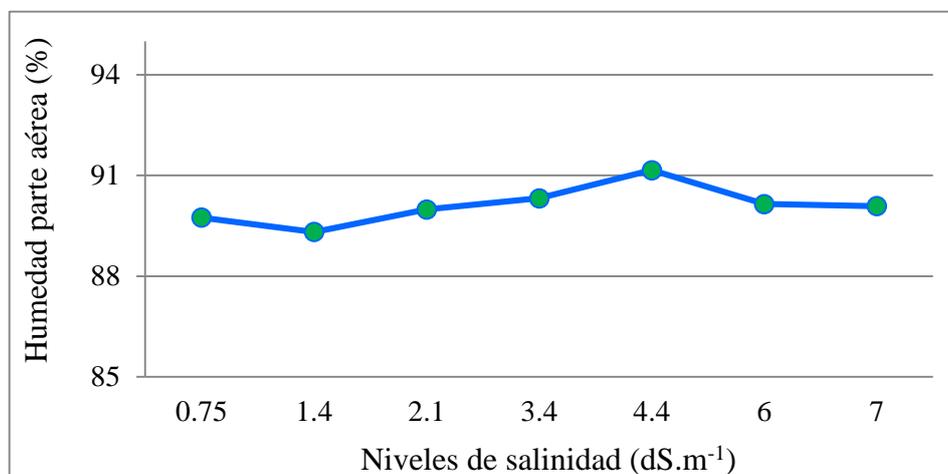


Figura 18: Variación de la humedad de la parte aérea a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,51; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. El análisis de varianza indica que existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en la humedad aérea promedio con variaciones de los niveles de salinidad del agua de riego. (Anexo 12).

4.4.3 Contenido de humedad de la parte radicular

El contenido de humedad de la parte radicular corresponde a la cantidad de agua que existe en la raíz. En la Tabla 23 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Fig. 19 se presenta la variación de los promedios.

El mayor contenido de humedad en la zona radicular se presentó con 6 dS.m⁻¹ en el agua de riego (T6), obteniendo un valor de 88 por ciento. Se puede apreciar que también el contenido de humedad de las raíces tiende a aumentar según se incrementa la salinidad del agua de riego.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,42; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos.

Tabla 23: Contenido de humedad de la parte radicular de la planta

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Contenido de humedad (%)			Humedad promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	80,7	84,9	82,6	82,6
T2	1,4	79,0	70,5	83,0	78,2
T3	2,1	82,3	78,8	84,8	82,0
T4	3,4	85,2	85,6	81,0	84,0
T5	4,4	90,4	78,3	88,8	86,7
T6	6,0	89,2	88,6	86,2	88,0
T7	7,0	85,8	93,7	77,5	87,5

Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en la humedad radicular promedio con variaciones de los niveles de salinidad del agua de riego (Anexo 13).

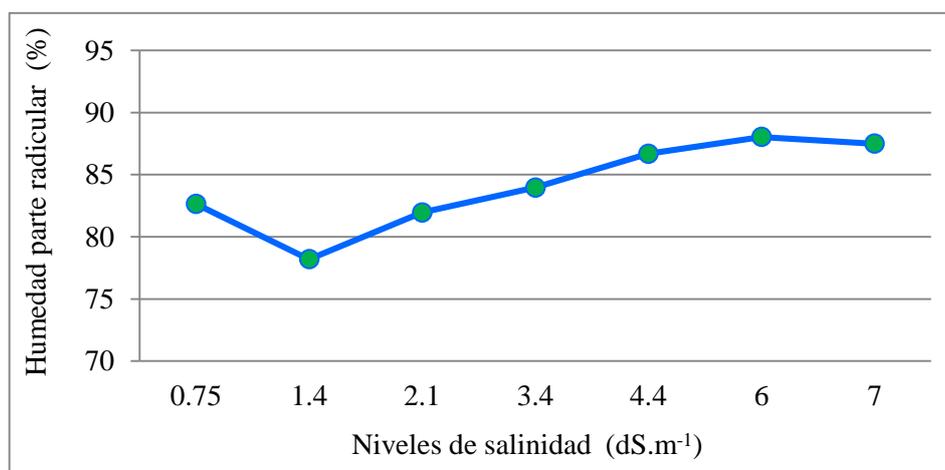


Figura 19: Variación de la humedad de la parte radicular a diferentes valores de salinidad

4.5 CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA

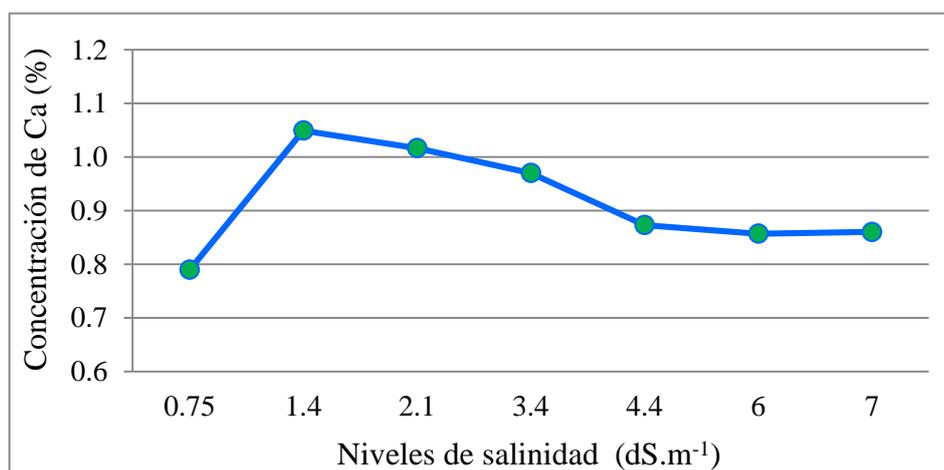
4.5.1 Concentración de calcio

En la Tabla 24 se muestran los resultados de la concentración porcentual de calcio contenido en la lechuga, por cada tratamiento. En la Fig. 20 se presenta la variación de concentración de calcio de acuerdo al tratamiento.

Tabla 24: Concentración de calcio

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Concentración (%)			Concentración promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	0,79	0,72	0,86	0,79
T2	1,4	0,98	1,08	1,09	1,05
T3	2,1	1,07	0,95	1,03	1,02
T4	3,4	1,06	0,93	0,92	0,97
T5	4,4	0,92	0,90	0,80	0,87
T6	6,0	0,89	0,83	0,85	0,86
T7	7,0	0,87	0,74	0,97	0,86

Se observa que la menor concentración porcentual promedio de calcio se obtiene en el tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹) con un valor de 0,79 por ciento y la mayor concentración se obtiene en el tratamiento T2 (1,4 dS.m⁻¹) con un valor es igual a 1,05 por ciento. A partir de este valor, el promedio de las concentraciones fue disminuyendo de manera gradual hasta alcanzar la concentración promedio de 0,86 por ciento, en los tratamientos T6 y T7. Navarro *et al.* (2003), indican que la función del calcio es actuar como agente cementante para mantener unidas las células y regular la absorción de nitrógeno.

**Figura 20:** Variación de la concentración de calcio a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 5,31; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. El análisis de varianza (Anexo 14), indica que existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad

del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de calcio promedio. Del análisis Duncan se puede observar que el efecto del tratamiento T2 (1,4 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente la mayor concentración de calcio promedio (1,05 %) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹), es el que produce la menor concentración de calcio (0,79 %).

4.5.2 Concentración de magnesio

En la Tabla 25 se muestran los resultados de la concentración porcentual de magnesio en la lechuga, por cada tratamiento. En la Fig. 21 se presenta la variación de concentración de magnesio de acuerdo al tratamiento.

Tabla 25: Concentración de magnesio

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Concentración (%)			Concentración promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	0,26	0,21	0,28	0,25
T2	1,4	0,31	0,34	0,33	0,33
T3	2,1	0,27	0,25	0,29	0,27
T4	3,4	0,32	0,28	0,25	0,28
T5	4,4	0,26	0,26	0,25	0,26
T6	6,0	0,29	0,27	0,26	0,27
T7	7,0	0,27	0,23	0,27	0,26

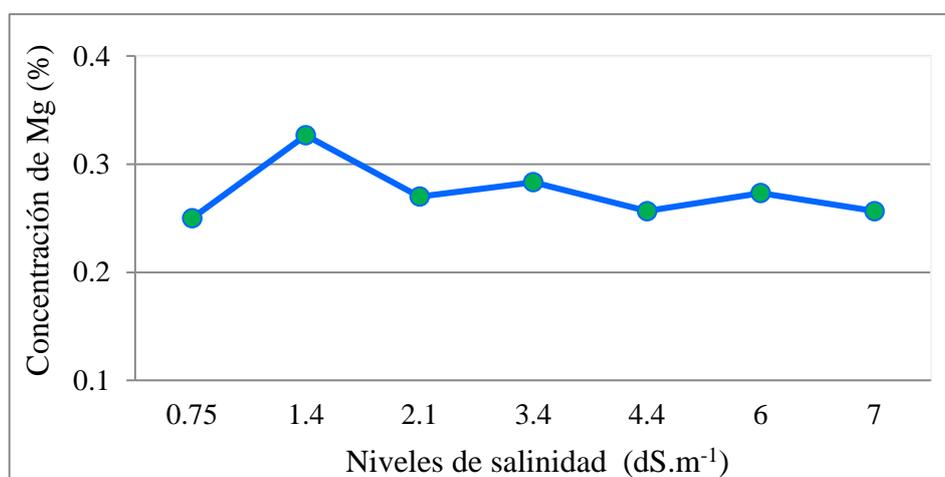


Figura 21: Variación de la concentración de magnesio a diferentes valores de salinidad

Al igual que en el ion calcio, la menor absorción de magnesio fue registrado en el tratamiento T1 (0,25 dS.m⁻¹), con un porcentaje promedio de 0,25 por ciento y la mayor absorción se registró en el tratamiento T2 (1,4 dS.m⁻¹), con un porcentaje promedio de 0,33 por ciento. A partir de este valor la concentración promedio de magnesio fue disminuyendo sin ninguna tendencia, presentándose una menor absorción promedio en los tratamientos T5 y T7 (0,26 por ciento). Navarro *et al.* (2003), indican que el magnesio es absorbido por la planta como Mg⁺² y se halla en un contenido del 0,5 por ciento del peso seco. El magnesio desarrolla funciones importantes, sin este elemento no sería posible la vida sobre la tierra ya que entra en la composición de los pigmentos verdes, utiliza la energía solar y la síntesis de los constituyentes orgánicos indispensables para la vida vegetal.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 3,58; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de magnesio promedio. Del análisis Duncan (Anexo 15), se puede observar que el efecto del tratamiento T2 (1,4 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente la mayor concentración de magnesio promedio (0,33 %) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹), es el que produce la menor concentración de magnesio (0,25 %).

4.5.3 Concentración de sodio

En la Tabla 26 se muestran los resultados de la concentración porcentual de sodio en la lechuga por cada tratamiento. En la Fig. 22 se presenta la variación de concentración de sodio de acuerdo al tratamiento.

La concentración de sodio promedio se incrementó según aumentó la salinidad del agua de riego, obteniéndose la menor concentración (0,55 por ciento) con el tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹) y alcanzando el mayor valor (1,81 por ciento) con el tratamiento T7 (7 dS.m⁻¹).

El estadístico de prueba valor de F calculado es 17,62; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de sodio promedio. Del análisis Duncan (Anexo 16) se puede observar que el efecto del tratamiento T7 (7dS.m⁻¹) es el que produce

significativamente la mayor concentración de sodio promedio (1,81 %) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹), es el que produce la menor concentración de sodio (0,55 %).

Tabla 26: Concentración de sodio

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Concentración (%)			Concentración promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	0,51	0,52	0,63	0,55
T2	1,4	0,82	1,05	1,00	0,96
T3	2,1	1,11	1,06	1,04	1,07
T4	3,4	1,62	1,66	1,50	1,59
T5	4,4	1,63	1,68	1,52	1,61
T6	6,0	1,48	1,56	1,94	1,66
T7	7,0	1,46	1,79	2,19	1,81

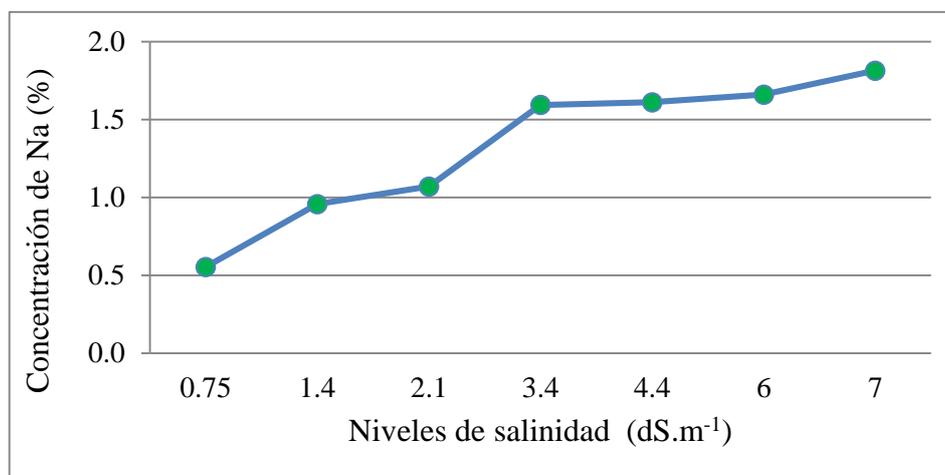


Figura 22: Variación de la concentración de sodio a diferentes valores de salinidad

4.5.4 Concentración de potasio

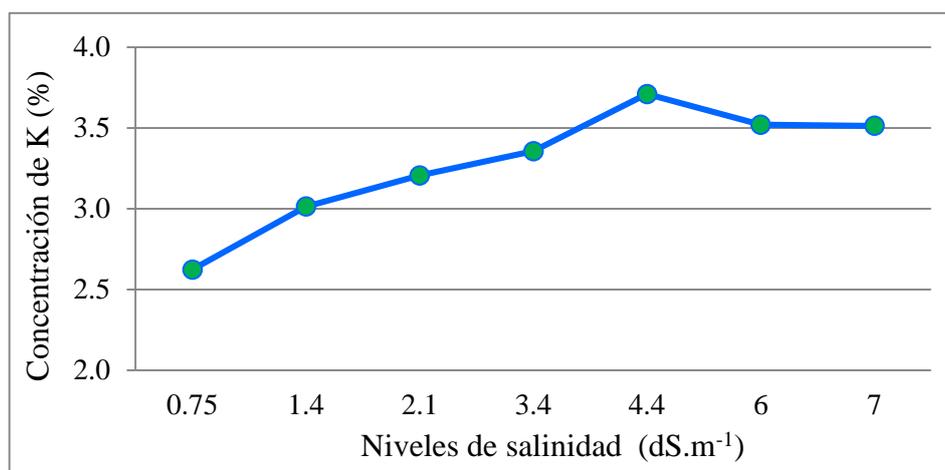
En la Tabla 27 se muestran los resultados de la concentración porcentual de potasio en la lechuga por cada tratamiento. En la Fig. 23 se presenta la variación de concentración de potasio de acuerdo al tratamiento.

Fuentes, S. (1999) indica que el potasio interviene en procesos de transpiración, absorción de agua, apertura de estomas y una deficiencia de este elemento genera la disminución de la turgencia en la planta.

Tabla 27: Concentración de potasio

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Concentración (%)			Concentración promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	2,26	2,54	3,07	2,62
T2	1,4	2,75	3,32	2,97	3,01
T3	2,1	3,15	2,59	3,88	3,21
T4	3,4	3,51	3,52	3,04	3,36
T5	4,4	3,45	3,73	3,95	3,71
T6	6,0	3,41	2,99	4,16	3,52
T7	7,0	3,18	4,00	3,36	3,51

Se puede apreciar que en el tratamiento T5 (4,4 dS.m⁻¹) se alcanzó la mayor concentración promedio de potasio (3,71 por ciento) y la menor se obtuvo en el tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹), equivalente a 2,62 por ciento.

**Figura 23:** Variación de la concentración de potasio a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,11; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. Según el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que no se obtienen efectos diferentes en el contenido de potasio promedio, cuando se varía la salinidad del agua de riego (Anexo 17).

4.5.5 Concentración de sulfatos

En la Tabla 28 se muestran los resultados de concentración porcentual de sulfatos en la lechuga por cada tratamiento. En la Fig. 24 se presenta la variación de concentración de sulfatos de acuerdo al tratamiento.

Tabla 28: Concentración de sulfatos

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Concentración (%)			Concentración promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	0,81	0,68	0,80	0,76
T2	1,4	0,68	0,83	0,74	0,75
T3	2,1	0,77	0,69	0,87	0,77
T4	3,4	0,92	0,97	0,83	0,90
T5	4,4	1,15	0,85	0,97	0,99
T6	6,0	0,81	0,83	1,07	0,90
T7	7,0	0,84	1,03	1,10	0,99

La mayor concentración de sulfatos (0,99 por ciento) se obtuvo en los tratamientos T5 (4,4 dS.m⁻¹) y T7 (7 dS.m⁻¹) y el menor valor se presentó en el tratamiento T2 (1,4 dS.m⁻¹), con un valor de 0,75 por ciento. Navarro, S. y Navarro, G. (2013) indican que la cantidad de azufre existente en la planta varía dentro de límites relativamente amplios, situándose entre 0,1 y 1 por ciento de azufre por peso seco. El exceso de sulfato causa problemas que favorecen el necrosamiento de hojas y retardo del crecimiento de las plantas.

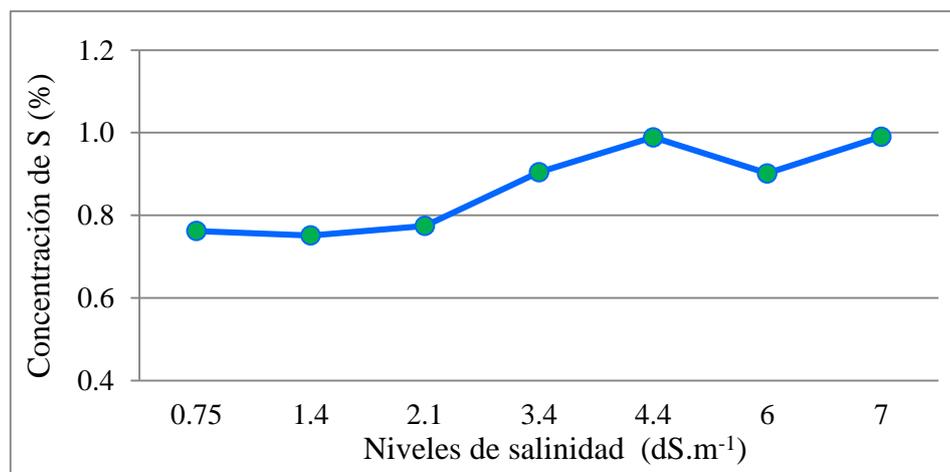


Figura 24: Variación de la concentración de sulfatos a diferentes valores de salinidad

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,69; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas no son significativos. Tras el análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación del 5% que no se obtienen efectos diferentes en el contenido de sulfato promedio cuando se varía la salinidad del agua de riego (Anexo 18).

4.5.6 Concentración de cloruros

En la Tabla 29 se muestran los resultados de concentración porcentual de cloruros en la lechuga por cada tratamiento. En la Fig. 25 se presenta la variación de concentración de cloruros de acuerdo al tratamiento y la clase textural.

Tabla 29: Concentración de cloruros

Clave	Niveles de salinidad (dS.m ⁻¹)	Concentración (%)			Concentración promedio (%)
		I	II	III	
T1	0,75	0,69	0,75	0,84	0,76
T2	1,4	1,07	1,44	1,47	1,32
T3	2,1	1,60	1,79	1,79	1,73
T4	3,4	2,48	2,64	2,45	2,52
T5	4,4	2,65	2,61	2,61	2,62
T6	6,0	2,83	2,91	2,95	2,90
T7	7,0	2,80	2,51	3,49	2,94

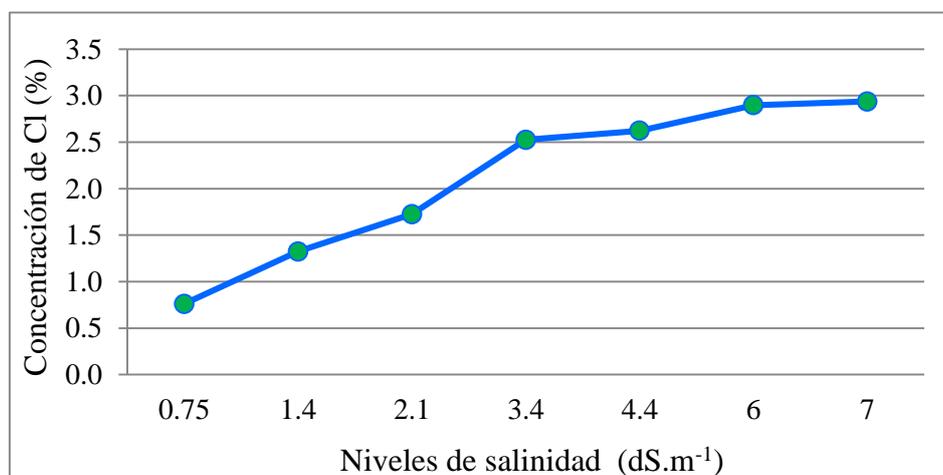


Figura 25: Variación de la concentración de cloruros a diferentes valores de salinidad

La menor concentración de cloruros (0,76 por ciento) se obtuvo en el tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹) y el mayor valor se presentó en el tratamiento T7 (7,0 dS.m⁻¹), con un valor de 2,94 por ciento. Navarro, S. y Navarro, G. (2003) indican que el requerimiento fisiológico de cloro de una planta es bajos, en el orden de 5 miligramos por gramo de peso seco, por lo tanto la lechuga es un cultivo de baja tolerancia a la acumulación de cloruros.

En el presente experimento se encontró en las plantas de lechuga los síntomas por exceso de cloruro, los cuales son adelgazamiento de hojas y amplias turgencias, debido a que este elemento estaba presente en el agua de riego .El estadístico de prueba valor de F calculado es 36,62; el valor F de tabla para un nivel de significación del 5% es 2,848, por consiguiente el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos. El análisis de varianza (Anexo 19), indica que existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del 5%, que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de cloro promedio. Del análisis Duncan se puede observar que el efecto del tratamiento T7 (7,0 dS.m⁻¹) es el que produce significativamente la mayor concentración de cloro promedio (2,94 %) en las plantas de lechuga, mientras que el efecto del tratamiento T1 (0,75 dS.m⁻¹) es el que produce la menor concentración de cloro (0,76 %).

4.6 VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE SALINIDAD EN EL SUELO

Durante la investigación se determinó la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe), al inicio y al final del experimento. En la Fig. 26 se puede observar la variación de la CEe de acuerdo a cada tratamiento.

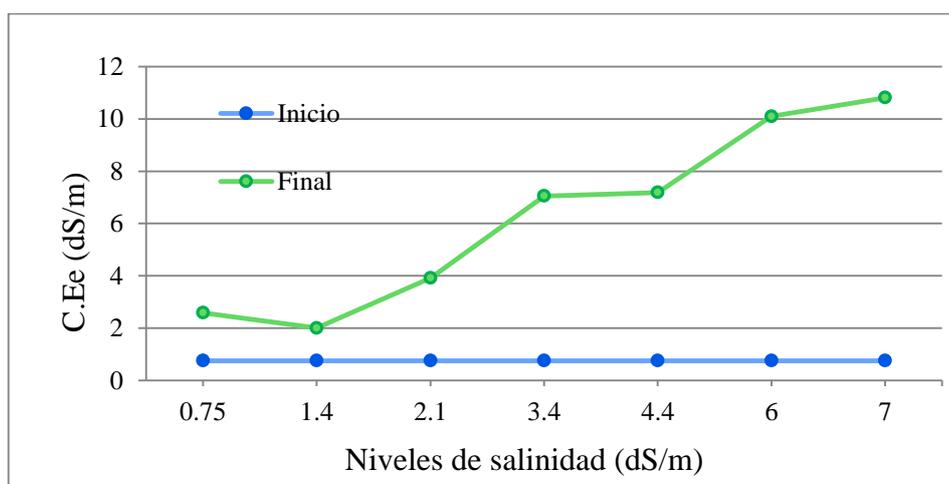


Figura 26: Variación de la CEe al inicio y final del experimento

Se aprecia una gran diferencia de concentraciones al final de la investigación. Las CEE fueron mayores en comparación con las que se midieron al inicio del experimento. Los tratamientos a los que se regaron con una mayor concentración salina acumularon mayor cantidad de sales; estas no se perdieron por percolación ya que se aplicaron frecuentes riegos para mantener los suelos a capacidad de campo, con lo cual las sales solubles que estuvieron presentes en la solución del suelo no pudieron ser tomadas por las plantas debido a la presión osmótica que aumenta directamente con la concentración salina.

V. CONCLUSIONES

- Los parámetros hallados después de la cosecha permiten concluir que la tolerancia a la salinidad del cultivo de lechuga es mayor de $7,0 \text{ dS.m}^{-1}$ en el agua de riego.
- El mayor peso aéreo fresco y el mayor peso aéreo seco promedio fue de $138,67 \text{ g}$ y $14,22 \text{ g}$, respectivamente, y fueron obtenidos con el tratamiento T1 ($0,75 \text{ dS.m}^{-1}$). A partir del tratamiento mencionado, los pesos empiezan a disminuir hasta $102,40 \text{ g}$ y $10,09 \text{ g}$, respectivamente, el cual se obtuvo con el tratamiento seis (T6) de 6 dS.m^{-1} de concentración salina.
- La mayor longitud total promedio alcanzada fue de $47,5 \text{ cm}$, obtenida con el tratamiento T3 ($3,4 \text{ dS.m}^{-1}$). En los tratamientos posteriores disminuye hasta $39,2 \text{ cm}$, obtenida con el tratamiento T6 (6 dS.m^{-1}). Las alturas no presentan diferencia significativa.
- La mayor concentración del ion calcio fue de $1,05$ por ciento y va en disminución desde el tratamiento T2 ($1,4 \text{ dS.m}^{-1}$), pero manteniéndose en cantidades necesarias para poder favorecer a la fijación del nitrógeno.
- Las mayores concentraciones de los cationes Na^+ y K^+ en el cultivo de la lechuga fueron $1,81$ y $3,51$ por ciento, respectivamente, obtenidas con el T7, de 7 dS.m^{-1} de concentración salina. La mayor concentración del ion Mg^{+2} fue muy baja, de $0,28$ por ciento, obtenida con el T4, presentando así todos los tratamientos deficiencia de este elemento, pudiendo concluir que este fue desplazado por el sodio en la absorción radicular, por ser elementos antagónicos.
- La mayor concentración de sulfatos ($0,99$ por ciento) se obtuvo en los tratamiento T5 ($4,4 \text{ dS.m}^{-1}$) y T7 (7 dS.m^{-1}) y el menor valor se presentó en el tratamiento T2 ($1,4 \text{ dS.m}^{-1}$).
- El mayor porcentaje de concentración del ión Cl^{-1} absorbido fue de $2,94$ obtenido con el tratamiento siete de 7 dS.m^{-1} de concentración salina. Esta cantidad fue mayor que el requerido por el cultivo, debido a que este ión es móvil y se desplaza por toda la planta.

VI. RECOMENDACIONES

- La lechuga mostró ser un cultivo capaz de soportar tratamientos con concentraciones mayores de $7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, por lo que se debe probar niveles de concentración de sales más altos para determinar el límite máximo de sales que tolera el cultivo.
- Se recomienda investigar con foliares derivados del sulfato para evitar las altas concentraciones de cloro.
- Probar aplicando yeso, para ver si disminuye la concentración de sodio en la planta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayers, R.; Westcot, D. 1985. Water quality. Roma, IT. 97 p. Publication FAO N° 29
- Balcázar, J. 1989. Efecto de la salinidad y la fertilización en el rendimiento de lechuga (*lactuca sativa*) cultivado en arena utilizando el riego por goteo. Tesis Ingeniería Agrícola. UNALM. Lima. Perú.
- Cerdas, M. y Montero, M. 2004. Guías técnicas del manejo poscosecha de apio y lechuga para el mercado fresco. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. San José, C.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agr. Handbook N° 60. L.A Richards. Washington, USA. 124-160 p.
- Fuentes, J. 1999. El suelo y los fertilizantes. 5ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Goicochea, J. 2012. Ingeniería del drenaje. Ediagraria, Perú. 155 – 187 p.
- La Rosa Villarreal, O.J. 2015. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo condiciones del valle del Rímac, Lima. Tesis Ingeniería Agrónoma. UNALM. Lima. Perú.
- López, D. 2015. Efecto del nivel de salinidad del agua y la textura del suelo en el cultivo de rúcula (*eruca sativa mill*). Tesis Ingeniería Agrícola. UNALM. Lima. Perú.
- Navarro, S. y Navarro, G. 2003. Química Agrícola-El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida. Ediciones Mundo Prensa.
- Salaverry, M. 2014. Efecto de veinte niveles de salinidad del agua de riego en los indicadores agronómicos del cultivo de acelga en la cosecha. Tesis Ingeniería Agrícola. UNALM. Lima. Perú.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Editorial Paraninfo, Madrid.

- USLS (U.S. Salinity Laboratory) 1972. Sobre la utilización de la clasificación de agua de riego. GEOGACETA. 5: 111-115 p.

Páginas web:

- Centro Agropecuario de Marengo. Universidad Nacional de Colombia 2009. [www.revistas.unal.edu.co/ index.php/agrocol/article/view/11330/37717](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11330/37717)
- Cross, S. 2012. Etapas de crecimiento de la lechuga romana. http://www.ehowenespanol.com/etapas-crecimiento-lechuga-romana-info_390318/
- Hill, Robert and Koenig, Richard. Water Salinity and Crop Yield. Utah State University. https://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG-425_3.pdf
- Lutemberg, Oscar. 2014. La salinidad y su influencia en suelos y plantas. ANA. <http://www.ana.gob.pe/media/496359/salinidad.pdf>
- Munns, R. y Termaat, A. 1986. Whole-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. Citado por la revista de la universidad de Colombia. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11330/37717>
- Zong, L.; Tedeschi, A.; Xue, X.; Wang, T.; Menenti, M.; Huang, C. 2009. Effect of different irrigation water salinities on some yield and quality components of two field. <http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-11-35-3/tar-35-3-9-0908-5.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Tolerancia a la salinidad de cultivos seleccionados en relación con su rendimiento Potencial y salinidad del agua de riego

Especie y Tolerancia	Parámetro a CE umbral dS.m ⁻¹ 25°C	Parámetro b % disminución del rendimiento por unidad de CE	Disminución del rendimiento (%)							
			0		10		25		50	
			CE _e	CE _{ar}	CE _e	CE _{ar}	CE _e	CE _{ar}	CE _e	CE _{ar}
Cebada grano	8,0	5,0	8,0	5,3	10,0	6,7	13,0	8,7	13,0	12,0
Algodón	7,7	5,2	7,7	5,1	9,6	6,4	13,0	8,4	17,0	12,1
Remolacha	7,0	5,9	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0
Trigo	6,0	7,1	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13,0	8,7
Cártamo	6,5	-	5,3	3,5	6,2	4,1	7,6	5,0	9,9	6,6
Soja	5,0	20,0	5,0	3,3	5,5	3,7	6,2	4,2	7,5	5,0
Sorgo	4,8	-	4,0	2,7	5,1	3,4	7,2	4,8	11,0	7,2
Cacahuete	3,2	28,6	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3
Arroz	3,0	12,2	3,0	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8
Sesbania	2,3	7,0	2,3	1,5	3,7	2,5	5,9	3,9	9,4	6,3
Lino	1,7	12,0	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9
Haba	1,6	9,6	1,6	1,1	2,6	1,8	4,2	2,0	6,8	4,5
Judía	1,0	18,9	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4
Higuera	4,2	-	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7	8,4	5,6
Olivo	4,0	-	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7	8,4	5,6
Granado	4,0	-	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7	8,4	5,6
Pomelo	1,8	16,1	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3
Naranja	1,7	15,9	1,7	1,1	2,3	1,6	3,2	2,2	4,8	3,2
Limonero	1,0	-	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Manzano	1,0	-	1,7	1,0	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Peral	1,0	-	1,7	1,0	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Nogal	-	-	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Melocotonero	3,2	18,8	1,7	1,1	2,2	1,4	2,9	1,9	4,1	2,7
Albaricoquero	1,0	-	1,6	1,1	2,0	1,3	2,6	1,8	3,7	2,5
Viña	1,5	9,5	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5
Almendro	1,5	18,0	1,5	1,0	2,0	1,4	2,8	1,9	4,1	2,7
Ciruelo	1,5	18,2	1,5	1,0	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,8
Zarzamora	1,0	18,9	1,5	1,0	2,0	1,3	2,6	1,8	3,8	2,5
Frambuesa	1,0	-	1,0	0,7	1,4	1,0	2,1	1,4	3,2	2,1
Fresal	1,0	33,3	1,0	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7
Remolacha	4,0	9,0	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4
Brócoli	2,8	9,1	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5
Tomate	2,5	9,9	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0
Pepino	2,5	13,0	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2
Melón	2,5	-	2,2	1,5	3,6	2,4	5,7	3,8	9,1	6,1

Espinacas	2,0	7,6	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7
Col	1,8	9,7	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6
Patata	1,7	12,0	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9
Maíz Dulce	1,7	12,0	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9
Batata	1,5	11,0	1,5	1,0	2,4	1,6	3,8	2,5	6,0	4,0
Pimiento	1,5	14,1	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4
Lechuga	1,3	13,0	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,2	3,4
Rábano	1,2	13,0	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4
Cebolla	1,2	16,1	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9
Zanahoria	1,0	14,1	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,1
Agropiro alto	7,5	4,2	7,5	5,0	9,9	6,6	13,3	9,0	19,4	13,0
Agropiro c.	7,5	6,9	7,5	5,0	3,3	6,0	11,0	7,4	15,0	9,8
Gramma	6,9	6,4	6,9	4,6	8,5	5,7	10,8	7,2	14,7	9,8
Cebada	6,0	7,0	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,3	13,0	8,7
Ballico	5,6	7,6	5,6	3,7	6,9	4,6	8,9	5,9	12,2	8,1
Trébol	5,0	10,0	5,0	3,3	6,0	4,0	7,5	5,0	10,0	6,7
Pájaro	4,6	7,6	4,6	3,1	5,9	3,9	7,9	5,3	11,1	7,4

*CEe: Salinidad del suelo; CEar: Salinidad del agua de Riego

Fuente: FAO

Anexo 2: Análisis estadístico del peso fresco total

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	10859.29	1809.88
Error	14	8851.38	632.24
Corrected total	20	19710.67	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.55	11.20	25.14	224.54

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	10859.29	1809.88	2.86	0.0492

Duncan's Multiple Range Test for Peso Total

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	632.24

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	44.03	46.14	47.44	48.32	48.94	49.4

Duncan grouping	Mean	N	Clave
A	250.47	3	T5
A	248.8	3	T3
A	248.53	3	T4
B	218.93	3	T2
B	212.73	3	T6
B	197.27	3	T1
B	195.07	3	T7

Anexo 3: Análisis estadístico del peso fresco aéreo

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	4224.33	704.06
Error	14	4288.37	306.31
Corrected total	20	8512.70	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.50	14.19	17.50	123.31

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	4224.33	704.06	2.3	0.0936

Anexo 4: Análisis estadístico del peso fresco radicular

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	9188.80	1531.47
Error	14	3865.95	276.14
Corrected total	20	13054.75	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.70	18.21	16.62	91.23

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	9188.80	1531.47	5.55	0.004

Duncan's Multiple Range Test for Peso Radicular

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	276.14

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	29.1	30.49	31.35	31.93	32.35	32.65

Duncan grouping		Mean	N	Clave
	A	116.87	3	T4
B	A	105.57	3	T5
B	A	102.9	3	T3
B	A	100.33	3	T6
B		82.4	3	T7
B		81.97	3	T2
	C	48.6	3	T1

Anexo 5: Análisis estadístico del peso seco total

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	429.32	71.55
Error	14	110.95	7.92
Corrected total	20	540.26	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.79	10.59	2.82	26.58

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	429.32	71.55	9.03	0.0004

Duncan's Multiple Range Test for Peso Seco Total

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	14
Error Mean Square	7.92

Number of Means	2	3	4	5	6	7
Critical Range	4.93	5.166	5.311	5.41	5.48	5.531

Duncan grouping		Mean	N	Clave
	A	32.177	3	T3
B	A	31.433	3	T2
B	A	30.51	3	T4
B	C	26.723	3	T5
D	C	22.657	3	T1
D	C	22.09	3	T6
D		20.48	3	T7

Anexo 6: Análisis estadístico del peso seco aéreo

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	49.95	8.33
Error	14	43.71	3.12
Corrected total	20	93.67	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.53	14.44	1.77	12.24

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	49.95	8.33	2.67	0.0612

Anexo 7: Análisis estadístico del peso seco radicular

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	318.94	53.16
Error	14	110.19	7.87
Corrected total	20	429.13	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.74	19.56	2.81	14.34

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	318.94	53.16	6.75	0.0016

Duncan's Multiple Range Test for Peso Seco Radicular

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	7.87

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	4.913	5.148	5.293	5.391	5.461	5.512

Duncan grouping	Mean	N	Clave
A	18.733	3	T4
A	18.567	3	T3
A	17.867	3	T2
B	14.5	3	T5
B	12	3	T6
B	10.3	3	T7
C	8.433	3	T1

Anexo 8: Análisis estadístico de la longitud total

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	84.39	14.07
Error	14	140.29	10.02
Corrected total	20	224.69	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.38	13.48	3.17	23.49

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	84.39	14.07	1.4	0.2805

Anexo 9: Análisis estadístico de la longitud aérea

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	25.27	4.21
Error	14	38.67	2.76
Corrected total	20	63.94	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.40	8.23	1.66	20.20

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	25.27	4.21	1.53	0.2408

Anexo 10: Análisis de la longitud radicular

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	84.39	14.07
Error	14	140.29	10.02
Corrected total	20	224.69	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.38	13.48	3.17	23.49

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	84.39	14.07	1.4	0.2805

Anexo 11: Análisis estadístico del contenido de humedad total

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	38.80	6.47
Error	14	45.44	3.25
Corrected total	20	84.24	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.46	2.04	1.80	88.13

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	38.80	6.47	1.99	0.1351

Anexo 12: Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte aérea

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	6.24	1.04
Error	14	9.66	0.69
Corrected total	20	15.90	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.39	0.92	0.83	90.08

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	6.24	1.04	1.51	0.2466

Anexo 13: Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte radicular

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	208.67	34.78
Error	14	343.61	24.54
Corrected total	20	552.28	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.38	5.92	4.95	83.65

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	208.67	34.78	1.42	0.2758

Anexo 14: Análisis estadístico de la concentración de calcio

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	0.17	0.03
Error	14	0.07	0.01
Corrected total	20	0.24	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.69	7.86	0.07	0.92

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	0.17	0.03	5.31	0.0048

Duncan's Multiple Range Test for Concentración de Calcio

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	0.005

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	0.1262	0.1323	0.136	0.1385	0.1403	0.1416

Duncan grouping		Mean	N	Clave
	A	1.04933	3	T2
	A	1.01667	3	T3
B	A	0.97	3	T4
B	C	0.873	3	T5
B	C	0.86033	3	T7
B	C	0.857	3	T6
	C	0.78967	3	T1

Anexo 15: Análisis estadístico de la concentración de magnesio

Variable Dependiente: Concentración de Mg					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Model	6	0.012	0.002		
Error	14	0.008	0.001		
Corrected Total	20	0.020			
R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean		
0.61	8.69	0.02	0.27381		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	0.012	0.002	3.58	0.0232

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.61	8.69	0.02	0.27381

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	0.012	0.002	3.58	0.0232

Duncan's Multiple Range Test for Concentración de Magnesio

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	0.0006

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	0.04169	0.04368	0.04491	0.04574	0.04634	0.04677

Duncan grouping	Mean	N	Clave
A	0.32667	3	T2
B	0.28333	3	T4
B	0.27333	3	T6
B	0.27	3	T3
B	0.25667	3	T5
B	0.25667	3	T7
B	0.25	3	T1

Anexo 16: Análisis estadístico de la concentración de sodio

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	3.83	0.64
Error	14	0.51	0.04
Corrected total	20	4.34	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.88	14.48	0.19	1.32

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	3.83	0.64	17.62	<.0001

Duncan's Multiple Range Test for Concentración de Sodio

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	0.036

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	0.3335	0.3495	0.3593	0.366	0.3707	0.3741

Duncan grouping	Mean	N	Clave
A	1.8133	3	T7
A	1.66	3	T6
A	1.6267	3	T4
A	1.5267	3	T5
B	1.07	3	T3
B	0.9567	3	T2
C	0.5533	3	T1

Anexo 17: Análisis estadístico de la concentración de potasio

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	2.43	0.41
Error	14	2.69	0.19
Corrected total	20	5.12	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.47	13.38	0.44	3.28

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	2.43	0.41	2.11	0.1174

Anexo 18: Análisis estadístico de la concentración de sulfatos

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	0.20	0.03
Error	14	0.17	0.01
Corrected total	20	0.37	

R-Square	Coef. var	Root MSE	Mean
0.54	12.74	0.11	0.87

Source	DF	Anova SS	Mean square	F value	Pr > F
Clave	6	0.20	0.03	2.69	0.0599

Anexo 19: Análisis estadístico de la concentración de cloruros

Source	DF	Sum of squares	Mean square
Model	6	12.55	2.09
Error	14	0.80	0.06
Corrected total	20	13.35	

R-Square	Coef. Var	Root MSE	Mean
0.94	11.44	0.24	2.09

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Clave	6	12.55	2.09	36.62	<.0001

Duncan's Multiple Range Test for Concentración de Cloro

Alpha	0.05
Error degrees of freedom	14
Error mean square	0.057

Number of means	2	3	4	5	6	7
Critical range	0.4185	0.4386	0.4509	0.4593	0.4652	0.4696

Duncan grouping		Mean	N	Clave
	A	2.9359	3	T7
B	A	2.8968	3	T6
B	A	2.5241	3	T4
B		2.4637	3	T5
	C	1.7253	3	T3
	C	1.3242	3	T2
	D	0.7597	3	T1