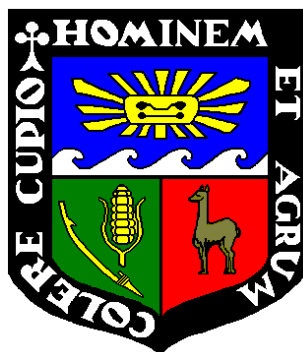


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“EFECTO DEL NIVEL DE SALINIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN  
EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE ESPINACA (*Spinacia oleracea*  
L.) EN SUELO ARENOSO”**

Presentado por:

**CAROLAY ANTUANETT MELGAREJO CHOQUE**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima - Perú

2018

*Dedicatoria*

A Dios y a mi familia

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios por todas las bendiciones que me otorga día a día.
- A mis padres, Ricardo y Catalina, por haberme dado su amor y su apoyo en cada etapa de mi vida. Gracias a sus enseñanzas me he convertido en la persona que soy, espero siempre hacerlos sentir orgullosos.
- A Vero, por ayudarme, no solo en este proyecto sino en la vida, por enseñarme lo que es ser la hermana mayor con todo lo que eso implica y a veces darme lecciones que me hacen sentirme orgullosa de ser su hermana.
- A la Mg Sc. Rocío del Pilar Pastor Jáuregui, por su gran apoyo en este proyecto, con sus consejos y con su guía logré realizar esta tesis. Muchas gracias por el tiempo que me brindó desde el inicio de este trabajo, le estaré siempre agradecida.
- Al Ing. Absalón Vásquez, por la ayuda y la guía que me brindó, le tengo un gran aprecio y le estoy muy agradecida por el apoyo en la finalización de este proyecto.
- Al Ing. Tomassini por el apoyo como co-asesor de esta investigación, sus consejos y observaciones me permitieron despejar muchas dudas para poder culminar este trabajo.
- Al Ing. Rubén Bazán y a la Sra. Rosemarie por la paciencia y el apoyo que me mostraron durante la etapa experimental de esta investigación.
- Al Sr. Alan Santibáñez, Técnico en el área de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, que me apoyó en la etapa de campo en la investigación.
- A Marden Pereyra, por ayudarme, acompañarme, entenderme y estar a mi lado no solo en este proyecto sino en todos estos años desde que iniciamos la universidad. Gracias por brindarme tu apoyo y por inspirarme a ser mejor cada día.
- A Sole López (Piki), por ser mi amiga, mi empuje y mi ejemplo a seguir durante estos años, eres mi hermana y agradezco infinitamente el conocerte.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 SALINIDAD EN LOS SUELOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 SALINIDAD EN EL AGUA DE RIEGO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 TOLERANCIA Y EFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS ....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN DE SALINIDAD .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 CULTIVO DE ESPINACA.....</b>	<b>17</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 MATERIALES.....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Ubicación del campo experimental.....	19
3.1.2 Agua.....	19
3.1.3 Suelo .....	21
3.1.4 Semillas.....	21

3.1.5	Materiales y equipos .....	21
<b>3.2</b>	<b>PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>22</b>
3.2.1	Metodología experimental .....	22
3.2.2	Preparación de las macetas .....	22
3.2.3	Siembra .....	23
3.2.4	Preparación de soluciones salinas.....	24
3.2.5	Aplicación de las soluciones salinas.....	24
3.2.6	Manejo de plagas .....	25
3.2.7	Determinación del tamaño de la planta.....	25
3.2.8	Determinación del peso fresco y seco de hojas, tallos y raíces .....	26
3.2.9	Contenido de humedad .....	27
3.2.10	Determinación de la conductividad eléctrica del suelo arenoso .....	27
3.2.11	Análisis foliar.....	28
3.2.12	Análisis estadístico .....	30
3.2.13	Relación entre las variables y el nivel de salinidad del suelo (CEe) .....	31
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>RENDIMIENTO DE MATERIA FRESCA .....</b>	<b>32</b>
4.1.1	Peso total.....	32
4.1.2	Peso de la parte aérea.....	33
4.1.3	Peso radicular.....	35
<b>4.2</b>	<b>RENDIMIENTO DE MATERIA SECA .....</b>	<b>36</b>
4.2.1	Peso total.....	36
4.2.2	Peso de la parte aérea.....	37
4.2.3	Peso Radicular .....	38
<b>4.3</b>	<b>LONGITUD DE LA PLANTA .....</b>	<b>40</b>
4.3.1	Longitud total.....	40
4.3.2	Longitud de la parte aérea.....	41
4.3.3	Longitud radicular.....	42
<b>4.4</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD .....</b>	<b>43</b>
4.4.1	Contenido de humedad total .....	43
4.4.2	Contenido de humedad de la parte aérea .....	45
4.4.3	Contenido de humedad de la parte radicular .....	46

<b>4.5</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN LA PLANTA DE ESPINACA...</b>	<b>47</b>
4.5.1	Concentración de potasio.....	47
4.5.2	Concentración de calcio.....	49
4.5.3	Concentración de magnesio.....	50
4.5.4	Concentración de sodio.....	52
4.5.5	Concentración de sulfatos.....	53
4.5.6	Concentración de cloruros.....	55
4.5.7	Relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ .....	56
4.5.8	Variación de los niveles de salinidad en el suelo.....	58
<b>4.6</b>	<b>RELACION ENTRE LAS VARIABLES Y LA CEe.....</b>	<b>60</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de Richards, propuesta por U.S. Salinity Laboratory .....	7
Cuadro 2: Clasificación propuesta por USLS.....	8
Cuadro 3: Salinidad de los suelos y efectos sobre los cultivos .....	9
Cuadro 4: Clasificación de las aguas de riego por su salinidad efectiva (SE).....	14
Cuadro 5: Clasificación de las aguas de riego por su salinidad potencial (SP).....	15
Cuadro 6: Datos climáticos de la Estación Davis 2016.....	19
Cuadro 7: Análisis de muestra de agua de riego .....	20
Cuadro 8: Peso total de materia fresca de espinaca.....	32
Cuadro 9: Peso total de la materia seca del cultivo de espinaca.....	36
Cuadro 10: Longitud total del cultivo de espinaca .....	40
Cuadro 11: Contenido de humedad total del cultivo de espinaca.....	44
Cuadro 12: Concentración de potasio.....	47
Cuadro 13: Concentración de calcio.....	49
Cuadro 14: Concentración de magnesio .....	51
Cuadro 15: Concentración de sodio.....	52
Cuadro 16: Concentración de sulfatos.....	54
Cuadro 17: Concentración de cloruros .....	55
Cuadro 18: Relación Na/Ca.....	57
Cuadro 19: CE del suelo durante el crecimiento de la espinaca.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación producción vs CEe .....	12
Figura 2: Fenología del cultivo de espinaca .....	18
Figura 3: Lavado de suelo arenoso .....	22
Figura 4: Macetas con suelo arenoso.....	23
Figura 5: Cama de almácigo de espinaca .....	23
Figura 6: Macetas con dos plántulas de espinaca .....	24
Figura 7: <i>Plutella xylostella</i> o polilla de las crucíferas .....	25
Figura 8: Hoja con daños por la <i>Plutella xylostella</i> .....	25
Figura 9: Medición del tamaño de la espinaca .....	26
Figura 10: Peso fresco de espinaca.....	26
Figura 11: Peso seco de espinaca .....	27
Figura 12: Preparación de la pasta de saturación del suelo .....	27
Figura 13: Obtención de la conductividad eléctrica del suelo.....	28
Figura 14: Lectura de la CE.....	28
Figura 15: Peso de muestras .....	29
Figura 16: Agitación de muestras.....	28
Figura 17: Filtración de muestras .....	29
Figura 18: Titulación de muestras .....	30
Figura 19: Variación del peso total de la materia fresca promedio .....	33
Figura 20: Variación del peso de la parte aérea promedio de la materia fresca .....	34
Figura 21: Variación del peso radicular de la materia fresca promedio .....	35
Figura 22: Variación del peso total de la materia seca promedio.....	37
Figura 23: Variación del peso de la parte aérea de la materia seca promedio.....	38
Figura 24: Variación del peso radicular de la materia seca promedio.....	39
Figura 25: Variación de la longitud total promedio .....	41
Figura 26: Variación de la longitud aérea promedio .....	42
Figura 27: Variación de la longitud radicular promedio .....	43
Figura 28: Variación de la humedad total de la espinaca .....	44
Figura 29: Variación de la humedad de la parte aérea de la espinaca .....	45
Figura 30: Variación de la humedad radicular promedio de la espinaca.....	46
Figura 31: Concentración de potasio promedio en cada tratamiento .....	48



Figura 32: Calcio promedio en cada tratamiento.....	50
Figura 33: Concentración de magnesio promedio en cada tratamiento.....	51
Figura 34: Concentración de sodio promedio en cada tratamiento .....	53
Figura 35: Concentración de sulfatos promedio en cada tratamiento .....	54
Figura 36: Concentración de cloruros promedio en cada tratamiento.....	56
Figura 37: Concentración de Na/Ca promedio en cada tratamiento.....	57
Figura 38: Variación de la CEe durante el experimento .....	59
Figura 39: Variación del peso fresco total promedio con la CEe .....	60
Figura 40: Variación del peso seco total promedio con la CEe.....	61
Figura 41: Altura promedio Vs. CEe.....	61
Figura 42: Prueba de efectos inter-sujetos de peso total .....	69
Figura 43: Duncan - peso total .....	69
Figura 44: Pruebas de efectos inter-sujetos del peso fresco aéreo .....	70
Figura 45: Duncan - peso fresco aéreo .....	70
Figura 46: Pruebas de efecto inter – sujetos del peso fresco radicular.....	71
Figura 47: Duncan - peso fresco radicular.....	71
Figura 48: Pruebas de efecto inter – sujetos de peso seco total.....	72
Figura 49: Duncan - peso seco total .....	72
Figura 50: Pruebas de efecto inter – sujetos de peso seco aéreo .....	73
Figura 51: Duncan - peso seco aéreo.....	73
Figura 52: Pruebas de efecto inter – sujetos de peso seco radicular.....	74
Figura 53: Duncan - peso seco radicular .....	74
Figura 54: Pruebas de efecto inter – sujetos de la longitud total.....	75
Figura 55: Duncan - longitud total .....	75
Figura 56: Pruebas de efecto inter – sujetos de la longitud aérea.....	76
Figura 57: Duncan – longitud aérea .....	76
Figura 58: Pruebas de efecto inter – sujetos de la longitud radicular.....	77
Figura 59: Duncan - longitud radicular .....	77
Figura 60: Pruebas de efecto inter – sujetos del contenido de humedad total.....	78
Figura 61: Duncan - contenido de humedad total.....	78
Figura 62: Pruebas de efecto inter-sujetos de contenido de humedad de la parte aérea.....	79
Figura 63: Duncan – contenido de humedad de la parte aérea.....	79
Figura 64: Pruebas de efecto inter – sujetos del contenido de humedad radicular.....	80
Figura 65: Duncan - contenido de humedad de la parte radicular.....	80

Figura 66: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de potasio .....	81
Figura 67: Duncan - concentración de potasio .....	81
Figura 68: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de calcio .....	82
Figura 69: Duncan - concentración de calcio .....	82
Figura 70: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de magnesio.....	83
Figura 71: Duncan - concentración de magnesio .....	83
Figura 72: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de sodio .....	84
Figura 73: Duncan - concentración de sodio .....	84
Figura 74: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de sulfatos.....	85
Figura 75: Duncan - concentración de sulfatos .....	85
Figura 76: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de cloruros.....	86
Figura 77: Duncan - concentración de cloruros.....	86
Figura 78: Pruebas de efecto inter – sujetos de relación Na/Ca .....	87
Figura 79: Duncan - relación Na/Ca.....	87

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Análisis estadístico del peso fresco total .....	69
ANEXO 2: Análisis estadístico del peso fresco aéreo .....	70
ANEXO 3: Análisis estadístico del peso fresco radicular .....	71
ANEXO 4: Análisis estadístico del peso seco total .....	72
ANEXO 5: Análisis estadístico del peso seco aéreo .....	73
ANEXO 6: Análisis estadístico del peso seco radicular.....	74
ANEXO 7: Análisis estadístico de la longitud total .....	75
ANEXO 8: Análisis estadístico de la longitud aérea.....	76
ANEXO 9: Análisis estadístico de la longitud radicular.....	77
ANEXO 10: Análisis estadístico del contenido de humedad total .....	78
ANEXO 11: Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte aérea.....	79
ANEXO 12: Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte radicular .....	80
ANEXO 13: Análisis estadístico de la concentración de potasio.....	81
ANEXO 14: Análisis estadístico de la concentración de calcio.....	82
ANEXO 15: Análisis estadístico de la concentración de magnesio .....	83
ANEXO 16: Análisis estadístico de la concentración de sodio.....	83
ANEXO 17: Análisis estadístico de la concentración de sulfatos.....	85
ANEXO 18: Análisis estadístico de la concentración de cloruros .....	86
ANEXO 19: Análisis estadístico de la relación Na/Ca .....	87
ANEXO 20: Tolerancia a la salinidad de cultivos en relación con su rendimiento .....	88

## RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el nivel de tolerancia máxima a la salinidad en el agua de riego del cultivo de espinaca, sin que se vea afectado su rendimiento y su calidad. Para determinar este nivel de salinidad, se realizaron pruebas físicas (peso fresco, peso seco, tamaño de la planta y raíces); así mismo, pruebas químicas para medir la concentración de elementos foliares, salinidad del suelo y agua. La fase experimental en campo fue de 70 días, ciclo de crecimiento de la planta. Las semillas fueron germinadas en almacigueras, para luego realizar el trasplante a macetas con suelo arenoso. Se aplicaron 12 tratamientos a las plantas con agua de diferente nivel de salinidad, de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo: 0,76 (T1); 1,3 (T2), 2,2 (T3); 3,5 (T4); 4,6 (T5); 5,7 (T6); 7,1 (T7); 8,5 (T8); 10 (T9); 12 (T10); 15 (T11) y 20 (T12)  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones, utilizando en total 36 macetas. Terminado el periodo experimental, los resultados de las pruebas determinaron que las plantas con mayor crecimiento (peso fresco y altura) fueron las que se regaron con el tratamiento T1 ( $0,76 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), mientras se observó que en los tratamientos con mayor nivel de salinidad el rendimiento fue disminuyendo. En cuanto a la absorción de elementos, el potasio, el calcio, el magnesio y los sulfatos muestran una mayor concentración en el tratamiento T3 ( $2,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). La concentración de cloro y sodio aumentan a medida que se incrementa la salinidad del agua de riego. El cultivo no presentó daños significativos por ningún tratamiento, solo se observó una disminución de su rendimiento causado por el aumento de los niveles de salinidad.

Palabras claves: salinidad, espinaca, riego, arena.

## ABSTRACT

This research work aims to determine the level of maximum tolerance to salinity in the irrigation water of the spinach crop, without affecting its yield and quality. To determine this level of salinity, physical tests were performed (fresh weight, dry weight, size of the plant and roots); likewise, chemical tests to measure the concentration of foliar elements, soil salinity and water. The experimental phase in the field was 70 days, the plant growth cycle. The seeds were germinated in storehouses, and then transplanted into pots with sandy soil. 12 treatments were applied to the plants with water of different salinity levels, according to the water needs of the crop: 0.76 (T1); 1.3 (T2), 2.2 (T3); 3.5 (T4); 4.6 (T5); 5.7 (T6); 7.1 (T7); 8.5 (T8); 10 (T9); 12 (T10); 15 (T11) and 20 (T12) dS.m<sup>-1</sup>. For each treatment three repetitions were made, using a total of 36 pots. After the experimental period, the results of the tests determined that the plants with the highest growth (fresh weight and height) were those that were irrigated with the T1 treatment (0.76 dS.m<sup>-1</sup>), while it was observed that in the treatments with a higher level of salinity, the yield decreased. As for the absorption of elements, potassium, calcium, magnesium and sulfates show a higher concentration in the T3 treatment (2.2 dS.m<sup>-1</sup>). The concentration of chlorine and sodium increase as the concentration increases salinity of irrigation water. The crop did not show significant damage by any treatment, only a decrease in its yield caused by the increase in salinity levels was observed.

Keywords: salinity, spinach, irrigation, sand.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 GENERALIDADES

En la actualidad el Perú está experimentando un crecimiento importante con respecto a las exportaciones agroalimentarias. Debido a la variedad de climas y suelos se puede tener diferentes cultivos que se adapten a las condiciones del país y así obtener mayor cantidad de productos agrícolas para exportación. Es por esto que se han venido realizando proyectos de irrigación en diferentes regiones del país.

La agricultura depende directamente de las condiciones meteorológicas y debido a los cambios climatológicos por los que se está pasando, esta actividad se ha vuelto más sensible y será más evidente en los próximos años. Se prevé que el cambio climático tendrá repercusiones en el lugar y la manera en cómo se producen los alimentos, afectará también el crecimiento y el valor nutricional de ciertos cultivos, lo cual sería perjudicial para la población y el comercio de alimentos.

Uno de los problemas en la agricultura ha sido el de controlar, prevenir o mejorar suelos afectados por la salinidad. En las regiones áridas y semi áridas, donde la evaporación es mayor que la precipitación, se ubican las zonas más afectadas por las sales.

El efecto principal de la salinidad sobre los cultivos es la disminución de sus rendimientos y de la calidad de las plantas, que se traducen en importantes pérdidas económicas. Para minimizar el efecto de la salinidad se pueden aplicar distintas técnicas para la recuperación de suelos, que ayuden a crear un ambiente óptimo para el desarrollo de los cultivo; sin embargo, estas técnicas también conllevan un costo adicional que muchos agricultores no pueden cubrir debido a sus escasos ingresos económicos. Bajo estas circunstancias la respuesta es seleccionar cultivos tolerantes y que presenten un buen rendimiento ante condiciones de salinidad, por lo que se debe conocer cuáles son y qué nivel de salinidad pueden resistir sin afectar su calidad y desarrollo.

La espinaca (*Spinacia oleracea L.*) es considerada como una de las hortalizas de mayor aporte de vitamina A y hierro, también se destaca por su elevado contenido de calcio, fósforo, potasio y sodio. Las hojas son usadas de forma variada, ya sean frescas o cocidas;

actualmente, otra forma de utilizar este producto es en la agroindustria de congelados, enlatados y deshidratados. Los principales mercados son Estados Unidos, México, Europa y China, ya que estos son grandes consumidores de este producto.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de doce niveles de salinidad del agua de riego en el crecimiento del cultivo de espinaca en suelo arenoso.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la relación entre el nivel de salinidad del agua del riego con el desarrollo del cultivo de espinaca.
- Determinar la relación entre la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que se obtiene al final de la evaluación y los parámetros analizados (altura total de las plantas, peso fresco y peso seco) del cultivo de espinaca.
- Determinar el contenido de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  en la materia seca, para evaluar su nivel de absorción en la planta.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 SALINIDAD EN LOS SUELOS

La importancia del agro de la costa se puede observar a través del valor económico de la producción agrícola. Esta zona tiene mayor potencial debido a factores como clima, suelos, topografía, comunicaciones y comercialización. La pendiente de los terrenos es suave y gracias al riego se puede controlar la humedad en el suelo. La tecnología agrícola está más desarrollada en la costa y hay mayores canales de comercialización, pero un factor importante que afecta seriamente la producción agrícola es la falta de agua. Es por esto que se han venido realizando proyectos de irrigación en el país, como represas y otras obras hidráulicas de regularización de ríos para poder cubrir la necesidad de agua durante las campañas agrícolas (Alva, 1976).

Los suelos salinos constituyen un grave problema para la economía de los agricultores en las zonas subtropicales y desérticas del mundo. La costa peruana se incluye dentro de este problema, pues de una extensión de aproximadamente un millón de hectáreas con aptitud para riego, 750 000 hectáreas están cultivadas y de estas, según INADE (2010), existen cerca de 300 000 hectáreas afectadas por salinidad y mal drenaje.

Colmenares (1972) señaló que los suelos salinos son secos fisiológicamente debido a:

- La concentración osmótica de las sales incrementa el potencial negativo de agua, es por esto que las raíces deben tomar agua en presencia de una menor gradiente.
- La tolerancia de las plantas al nivel de salinidad varían según las especies.

Las sales que se encuentran en el suelo son combinación de cationes (calcio, sodio, magnesio y potasio) con aniones (cloruros, sulfatos y bicarbonatos). Cuando mayor es la concentración de sales, también es mayor el efecto perjudicial sobre los cultivos. Las sales que tienen solubilidad alta son más nocivas, porque se originan soluciones salinas muy concentradas.

La conductividad eléctrica (CE) es el parámetro que permite conocer la salinidad de una determinada muestra. Se basa en la velocidad con la que la corriente atraviesa una solución salina y es proporcional a la concentración de sales en la solución. Se mide en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .



La salinidad del suelo se mide por medio de su extracto de saturación, que se obtiene tomando una muestra de suelo a la cual se le añade agua destilada hasta la saturación, se extrae el agua de esa muestra, se mide la conductividad (CEe) y así se obtiene la concentración de sales que contiene la solución del suelo.

Goicochea (2004) menciona que los suelos según su salinidad se clasifican en tres categorías:

- Suelos salinos ( $CEe > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ )
- Suelos sódicos ( $CEe < 4 \text{ dS.m}^{-1}$ )
- Suelos salino – sódicos ( $CEe > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ )

Fuentes (2003), menciona que las sales solubles provienen de la descomposición de las rocas y de las que se incorporan con el agua de riego. También, plantea que la calidad del agua de riego depende del contenido y el tipo de sales que posee. Indica que los problemas derivados de la calidad del agua de riego que se usa tienen los siguientes efectos:

- Salinidad: cuando aumenta el contenido de sales en la solución del suelo, se incrementa la tensión osmótica, por lo tanto, la planta tiene que hacer mayor esfuerzo para absorber el agua por las raíces, entonces disminuye la cantidad de agua disponible para las plantas.
- Infiltración del agua en el suelo: contenidos altos de sodio y bajos de calcio provocan que el suelo tienda a disgregarse, lo que ocasiona una reducción en la velocidad de infiltración, que puede implicar disminución en la disponibilidad de agua en el suelo.
- Toxicidad: algunos iones, tales como sodio, cloro y boro, se pueden acumular en los cultivos en concentraciones suficientemente altas como para reducir el rendimiento de las cosechas.
- Otros efectos: en ocasiones hay que considerar los nutrientes contenidos en el agua de riego, con el fin de restringir la fertilización o porque pueden producir corrosión excesiva en el equipo de riego, aumentando costos de mantenimiento.

Las sales que se encuentran en el suelo pueden tener diversos orígenes, desde la descomposición de rocas, las zonas que están en contacto con agua de mar, el uso excesivo de fertilizantes o el uso de agua de riego salina, entre otros.

## **2.2 SALINIDAD EN EL AGUA DE RIEGO**

El agua de riego siempre presenta sales disueltas que son aportadas al suelo, lo que provoca un incremento de la salinidad del suelo y hace que las plantas tengan mayor dificultad para absorber el agua. Es necesario conocer la cantidad de sales del suelo o del agua que se usa, lo cual puede hacerse usando un conductivímetro para medir la conductividad eléctrica o mediante un análisis en laboratorio, para que se establezcan diversas estrategias de manejo (AgroEs, 2016).

El agua en estado natural contiene sólidos disueltos que pueden limitar los usos en la agricultura; la salinización en los suelos agrícolas va en aumento debido al uso de fertilizantes que afectan los flujos de retorno del riego ya que van cargados de sales y agroquímicos (Hurtado, 2003).

Según USDA (1954), la calidad del agua para riego se determina por la composición y concentración de los contribuyentes que puedan contener en solución o suspensión, adquiridos durante el transporte desde los puntos de precipitación e infiltración hasta donde se utilizará. Esa calidad es determinante en el comportamiento de los suelos y los cultivos en los aspectos relacionados con la salinización, dispersión o destrucción de la estructura, depósito de sedimentos, diseminación de plagas y enfermedades fungosas. Las características que determinan la calidad del agua de riego son:

- Concentración total de sólidos en suspensión (sedimentos de origen erosivo).
- Concentración total de sales solubles.
- Concentración relativa de sodio en relación a otros cationes.
- Concentración de boro u otros elementos tóxicos.
- Dureza del agua
- Presencia de semillas de malezas, esporas de hongos patógenos y huevos o larvas de insectos.

Asimismo, señaló que la concentración total de sales solubles en las aguas de riego para fines de diagnóstico y clasificación se puede expresar en términos de conductividad eléctrica ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

La calidad del agua de riego se define en función de tres criterios principalmente: la salinidad, la sodicidad y toxicidad (Richards et. al., 1954).

El problema de la calidad de agua de riego ocurre cuando el porcentaje de sales es elevado al punto en el que éstas se acumulen en el sistema radicular y afecten los rendimientos de la planta. Las sales de menor solubilidad que se encuentran en el agua, son los bicarbonatos de calcio y de magnesio (Goicochea, 2012).

García (2015) menciona los siguientes criterios generales que se utilizan para evaluar si el agua de riego es apta:

- Contenido de sales solubles: sales solubles totales (SST), conductividad eléctrica (CE), salinidad efectiva (SE) y salinidad potencial (SP). La salinidad efectiva es la estimación del peligro que representan las sales solubles al pasar a formar parte del agua del suelo. La salinidad potencial es el resto de sales menos solubles (cloruros y sulfatos) que quedan en el suelo, aumentando la presión osmótica.
- Efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos: relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio posible (PSP).
- Contenido de elementos tóxicos para la planta: contenido de cloruros, sodio y bicarbonatos.

En el país, la salinidad es uno de los problemas principales que está distribuida en las zonas bajas de los valles aluviales, generalmente irrigados con aguas subterráneas (Valverde, 1966).

Schwarz (1963) sostiene que se pueden usar aguas salinas para el crecimiento de diferentes plantas con técnicas de hidroponía, siempre que se utilicen iones de efectos antagónicos, estos reducen los daños fuertes de las plantas, aunque el rendimiento suele disminuir.

El agua de riego será calificada como de mejor calidad en comparación con otras si con ésta se consiguen mejores resultados ya sea en producción, rendimiento o calidad de cosecha, así como en la sostenibilidad del suelo (Ayers y Westcott, 1978).

Según Prieto (2008), el estudio de la calidad del agua para riego es inevitable antes de iniciar un proyecto de riego, ya que la utilización continua de aguas de mala calidad (alta conductividad eléctrica, alta relación de adsorción de sodio) con un manejo inadecuado puede provocar un deterioro en la calidad de los suelos, lo que traería consecuencias económicamente negativas.

La clasificación de la salinidad del agua, propuesta por el *U. S. Salinity Laboratory* (Richards *et. al.*, 1954), se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1: Clasificación de Richards, propuesta por U.S. Salinity Laboratory**

<b>Índice</b>	<b>CE (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Riesgo de salinidad</b>
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	Excesiva

FUENTE: Richards (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 plantas moderadamente tolerantes a las sales.
- Agua altamente salina (C3): no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales.

- Agua muy altamente salina (C4): no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse en circunstancias muy 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): sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.

La USLS (1972) modificó la clasificación de USDA, porque consideraban que los rangos de conductividad eléctrica usados eran muy conservadores (Cuadro 2).

**Cuadro 2: Clasificación propuesta por USLS**

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

FUENTE: USLS (1972)

### **2.3 TOLERANCIA Y EFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS**

Bendezú (1999) menciona que el estado más crítico en el desarrollo de las plantas es la germinación, por ello recomienda hacer germinar las semillas en pequeños depósitos para después ser trasplantadas. Se realiza para que las plántulas puedan soportar el estrés por salinidad; además, se debe acompañar con una fertilización de nutrientes solubles.

Las sales disueltas en la solución del suelo afectan a las plantas a través de dos mecanismos diferentes: mediante el aumento de la presión osmótica y por su efecto tóxico. En el Cuadro 3 se muestran los valores de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CEe) en relación con sus efectos sobre los cultivos. (Goicochea, 2004).

**Cuadro 3: Salinidad de los suelos y efectos sobre los cultivos**

<b>Clase de salinidad</b>	<b>CE (mmhos/cm)</b>	<b>Efectos sobre los cultivos</b>
Normal	0-2	Bajo
Ligeramente salinos	0,25-0,75	Medio
Medianamente salinos	0,75-2,25	Alto
Fuertemente salinos	2,25-4,0	Muy alto
Extremadamente salinos	>4,0	Excesiva

FUENTE: Goicochea (2004)

Leidi y Pardo (2002), mencionan que el efecto evidente ante el estrés salino es la reducción en la capacidad de absorción de agua, se puede manifestar en la reducción de expansión foliar y pérdida de turgencia, es decir, una célula vegetal expuesta a un medio salino equilibra su potencial hídrico perdiendo agua, lo que produce la disminución del potencial osmótico y de la turgencia.

Alcaraz *et. al.* (1999) indican que la salinidad es un problema que afecta la fisiología de la planta y su metabolismo. La excesiva concentración de sales ocasiona un desequilibrio iónico y un estrés osmótico. El estrés salino es un factor importante que inhibe el crecimiento de la planta y un alto estrés rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones. El bajo crecimiento es una característica adaptativa de las plantas para sobrevivir a este estrés. Según estos autores, las plantas en un suelo salino presentan problemas tales como:

- Osmótico: es donde desciende el potencial hídrico del suelo y produce una sequía fisiológica.
- Ion específico: concentraciones excesivas de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  alteran la germinación y el crecimiento de la planta.

Sevilla (1986) definió la tolerancia de los cultivos a la salinidad como una habilidad de las plantas para sobrevivir y producir rendimientos rentables en condiciones adversas.

El crecimiento de las plantas en suelos con alta concentración de salinidad es variable debido a la tolerancia que experimentan a través de todo su ciclo de desarrollo. Las

concentraciones de sales en el suelo varían en el tiempo y la profundidad. Por ejemplo, algunas especies son tolerantes durante la germinación, pero susceptibles a daños durante el desarrollo inicial. El stress salino generalmente suprime el crecimiento durante los periodos de desarrollo de las plantas (Sarmiento, 1998).

Los suelos arenosos son difíciles de regar por escurrimiento superficial ya que puede producirse erosión del suelo y una baja eficiencia de aplicación de agua. Asimismo, en terrenos de la costa, cercanos al mar, hay problemas de drenaje y salinidad. El agua salina de estos lugares podría ser utilizada para el riego siempre que se encuentre la manera de manejarlas en relación a cultivos tolerantes que puedan resistir varios grados de salinidad.

Resh (1987) menciona que una arena calcárea produce cambios en el pH que bloquean la absorción en las plantas de algunos elementos esenciales, tales como hierro y fósforo. El agua salina es considerada nociva para la mayoría de las plantas cultivadas. Las plantas que son resistentes presentan una reducción de rendimiento durante su crecimiento bajo riego salino. Sin embargo, el agua salina puede ser útil en áreas desérticas, por eso, es importante el establecimiento de regímenes de manejo de humedad que incluyan el uso de agua salina de diferente conductividad eléctrica. Los factores a considerar son el cultivo, la especie, el estado de desarrollo y el manejo agronómico.

Este autor señala algunos síntomas que se observan en las plantas afectadas por salinidad:

- Detenimiento general en el crecimiento de la planta.
- Hojas pequeñas y de color verde oscuro.
- Quemaduras en los bordes de las hojas que luego se extienden hacia la misma lámina foliar.

También, menciona que la salinidad puede inhibir la absorción de algunos iones. Concentraciones muy altas de sulfatos dan lugar a la absorción del sodio (causando la toxicidad por sodio), una disminución de la absorción del calcio, dando lugar a las deficiencias y una interferencia en la absorción del potasio. Las condiciones salinas también reducen la disponibilidad de ciertos micro elementos, haciendo necesario la adición de estos al suelo. Además, pueden afectar a las plantas por toxicidad causada por los cloruros y el sodio.

Mieri y Poljakoff - Mayber (1970) indican que el efecto tóxico de los iones se debe a las alteraciones que provoca en el metabolismo de la planta. Los cloruros tienen una mayor

repercusión en desbalance hídrico foliar en comparación con los sulfatos, estos tienden a aumentar la presión osmótica dentro de la planta.

Uno de los primeros efectos fisiológicos que provoca estrés salino en las plantas es la reducción del crecimiento debido a una disminución en la capacidad de absorción de agua, por lo que éste se convierte en un buen indicador para evaluar la capacidad de algunos productos de proteger a las plantas contra este tipo de estrés. (Núñez *et.al.*, 2007)

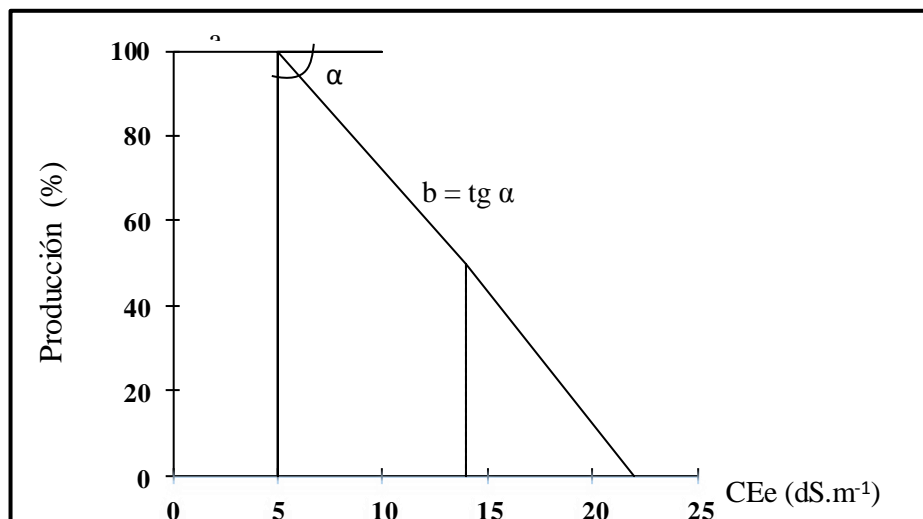
USDA (1954) clasificó a los cultivos de acuerdo a su tolerancia a la salinidad del suelo. En el caso de las hortalizas, plantea lo siguiente:

- Tolerancia alta (10 hasta 12 dS.m<sup>-1</sup>): betarragas, espárragos, espinaca.
- Tolerancia media (4 hasta 10 dS.m<sup>-1</sup>): tomate, ajo, brócoli, col de Bruselas, pimiento, coliflor, lechuga, choclo, melón, zanahoria, cebolla, arveja, zapallo, pepinillo y alcachofa.
- Tolerancia baja (2 a 4 dS.m<sup>-1</sup>): rabanito, apio, vainita, papa, camote y berenjena.

Goicochea (2012), indica que existen criterios para evaluar la calidad de un suelo salino en función de una serie de factores que suelen alterar significativamente los resultados de las tablas de reducción de cosecha de las distintas especies. Estos factores son la variabilidad que puede presentar la muestra de suelo seleccionada para determinar la salinidad, las técnicas de cultivo usadas, las condiciones de humedad del perfil del suelo, los comportamientos variables según 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 fases de crecimiento del cultivo.

Las técnicas de cultivo influyen, ya sea positiva o negativamente, sobre las condiciones salinas. Mass y Hoffman (1977) encontraron que existe una relación lineal entre la salinidad del suelo y la disminución en la producción de los cultivos (Figura 1) y que la conductividad eléctrica límite para obtener un mayor rendimiento del cultivo de espinaca es de 2 dS.m<sup>-1</sup> (ANEXO 20).





**Figura 1: Relación producción vs CEe**

FUENTE: Mass & Hoffman (1977)

La relación es:

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

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 por ciento es representada por a, definido como el umbral de salinidad de cada cultivo. El tramo inclinado es considerado como el porcentaje de disminución de CEe que supere el valor de a (expresa la sensibilidad del cultivo a los aumentos de salinidad (Goicochea, 2012).

Los parámetros a y b varían según el cultivo, así como los valores de producción para diferentes CEe, los cuales están expresados en el ANEXO 20, donde se puede observar la disminución del rendimiento (en porcentaje) de diversos cultivos regados con agua de diferentes salinidades.

A medida que aumenta el contenido de sales en la solución del suelo, se incrementa la tensión osmótica, por lo tanto, la planta tiene que hacer un mayor esfuerzo de succión para

absorber el agua por las raíces, disminuyendo así la cantidad de agua disponible para la planta (estrés hídrico), traduciéndose en problemas fisiológicos (Fuentes, 2003).

Richards *et. al.* (1954), indicaron que concentraciones de sodio de al menos un décimo de porcentaje del peso seco producen quemaduras de la hoja y hasta posible daño extensivo. Sin embargo, enfatizan en que la mayoría de los cultivos de hortalizas no son sensibles a iones cloruro o sodio y que pueden acumular altas concentraciones sin desarrollar síntomas de daño.

Las sales que se encuentran en los suelos están representadas por iones que sirven, mayormente, como nutrientes a las plantas, pero en concentraciones muy altas llegan a afectar el rendimiento y causar toxicidad (García, 2000).

La mayoría de sales solubles presentes en los suelos están compuestas por los cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y los aniones cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{--}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y boratos ( $\text{BO}_3^-$ ) y pequeñas cantidades de potasio (K), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ); obviamente, muchos suelos son más salinos que otros (Hurtado, 1988).

Según Richards *et. al.* (1954), se deben tener precauciones para no confundir los efectos de la baja fertilidad del suelo con los efectos de la salinidad; las plantas con baja fertilidad son comúnmente verde amarillentas.

Las plantas que se encuentran en condiciones salinas absorben selectivamente una mayor cantidad de potasio de la solución suelo, como una respuesta a la salinidad para contrarrestar sus efectos depresivos (Domínguez, 1984).

Moya (2012) resalta que el cloro tiene un movimiento rápido dentro de las plantas, debido a esto es de fácil acumulación en las hojas donde se presentan los daños más representativos. Los primeros síntomas se observan como quemaduras en los bordes de las hojas, finalmente se produce una defoliación intensa.

No todas las sales presentan peligro de afectación a los cultivos, tal es el caso del yeso ( $\text{CaSO}_4$ ), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) o magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), debido a que los iones en su mayoría sirven de nutrientes a las plantas, pero en concentraciones muy altas pueden llegar a afectar el rendimiento y causar toxicidad (Fuentes, 2003).

Goicochea (2012) indica que la salinidad efectiva (SE) es un criterio para clasificar el agua de riego. El cálculo de esta variable depende de la cantidad de iones presentes en el agua, expresados en meq.L<sup>-1</sup>.

- Si  $Ca > CO_3 + HCO_3 + SO_4$   
SE = suma de cationes – (CO<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub> + SO<sub>4</sub>)
- 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<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub>)
- Si  $Ca + Mg < CO_3 + HCO_3$   
SE = suma de cationes – (Ca + Mg)

El Cuadro 4 muestra la clasificación del agua de riego de acuerdo a los resultados que derivan del cálculo de la salinidad efectiva.

**Cuadro 4: Clasificación de las aguas de riego por su salinidad efectiva (SE)**

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

FUENTE: Goicochea (2012)

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:

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

El Cuadro 5 presenta la clasificación de las aguas de riego de acuerdo a los resultados que se obtienen del cálculo de la salinidad potencial.

**Cuadro 5: Clasificación de las aguas de riego por su salinidad potencial (SP)**

<b>Clase</b>	<b>SP (meq. L<sup>-1</sup>)</b>
Buena	< 3
Condicionada	3 - 15
No recomendable	>15

FUENTE: Goicochea (2012)

## **2.4 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN DE SALINIDAD**

La USDA (1954) clasificó a los cultivos de acuerdo a su tolerancia a la salinidad del suelo. En el caso de las hortalizas, plantearon lo siguiente: tolerancia alta (10 hasta 12 dS.m<sup>-1</sup>): betarragas, espárragos, espinaca.

La CE límite para obtener un mayor rendimiento del cultivo de espinaca es de 2 dS.m<sup>-1</sup> según Mass y Hoffman (1977).

Cruz-Romero (1983) señala que bajo condiciones de salinidad, la producción debe buscar nuevas estrategias basadas en la biología y en la tecnología.

- Las mejoras biológicas conducen a seleccionar plantas que posean una mayor tolerancia a la salinidad y a la sequía.
- La tecnología puede enfocarse al control de la salinidad de las aguas de riego, el empleo de sistemas de altas frecuencias de riego y prácticas que maximicen la eficiencia de la utilización del agua en el sector agrario.

Ayers y Hayward (1948) observaron que a pesar que la alfalfa y la beterraga son cultivos tolerantes a la sal, también tienen una relativa sensibilidad durante la germinación, mientras que el maíz, el cual es menos tolerante durante su fase de crecimiento, dio el 93 por ciento de germinación con 10 atmósferas de presión osmótica, indicando que no

siempre hay una correlación positiva entre la tolerancia de la sal en la etapa de germinación.

Moya (2012), determinó la posibilidad de emplear agua de elevada salinidad en ensayos de fertilización en el cultivo de maíz híbrido PM-213, bajo condiciones de invernadero en la UNALM, utilizando macetas con suelo franco arenoso. Las macetas fueron irrigadas con cuatro fuentes de agua con diferente nivel de salinidad: agua subterránea procedente de la UNALM ( $2,91 \text{ dS.m}^{-1}$ ), agua subterránea proveniente del distrito de Huachipa ( $0,79 \text{ dS.m}^{-1}$ ), agua superficial de regadío procedente del río Rímac ( $0,51 \text{ dS.m}^{-1}$ ) y agua desionizada como testigo. Se obtuvo como resultado que la calidad del agua de Huachipa fue la que incrementó en general el crecimiento, desarrollo y la nutrición del cultivo de maíz, mientras que el riego con agua subterránea del campus de la UNALM redujo significativamente la producción de materia seca. Se recomienda el uso de aguas de baja salinidad y prescindir del agua subterránea del campus UNALM (alta salinidad) en futuros experimentos en nutrición mineral.

Sifuentes (1992) desarrolló la investigación en el campo experimental del programa de hortalizas de la UNALM. Se realizó un ensayo para evaluar el rendimiento del camote en pozas de arena empleando agua con diferentes concentraciones de sales y riego por goteo. Determinó que el peso seco del follaje y de las raíces reservantes disminuyó con el aumento de los niveles de salinidad. Con el mayor nivel de salinidad ( $10,4 \text{ dS.m}^{-1}$ ) los rendimientos de camote disminuyeron en 44 por ciento en relación al testigo ( $1,4 \text{ dS.m}^{-1}$ ). La calidad de los camotes no fue afectada por las aguas salinas.

Salaverry (2014) evaluó, en macetas, el efecto de 20 niveles de salinidad del agua de riego en los indicadores agronómicos del cultivo de acelga. Utilizó niveles de salinidad desde  $0,78$  hasta  $38 \text{ dS.m}^{-1}$ . Las características más representativas en las plantas con niveles más altos de salinidad fueron hojas de color verde oscuro y disminución del tamaño de la planta. Los niveles de salinidad afectaron de forma severa el peso seco de la zona radicular, a comparación de la zona aérea y los efectos negativos se presentaron a partir de los  $8 \text{ dS.m}^{-1}$ .

La investigación de López (2015) se basó en determinar el nivel máximo de sales que el cultivo de rúcula puede tolerar sin afectar sus parámetros de calidad. Se emplearon almacigueras y luego macetas con dos texturas de suelo: arenosa y franca, aplicó seis

niveles de salinidad de agua de riego. Se demostró que el mejor escenario para el desarrollo de la rúcula fue en suelo arenoso regado con conductividad eléctrica de  $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

## 2.5 CULTIVO DE ESPINACA

La espinaca es una hortaliza cuyo nombre científico es *Spinacia oleracea L.* Pertenece a la familia Chenopodiaceae. Es uno de los vegetales de hoja más consumidos por la población ya que contribuye con un aporte balanceado de vitaminas y minerales a la dieta sana, previniendo muchas enfermedades que tienen su origen en una nutrición deficiente. Su origen es Asia Central y su ciclo de vida es anual. En una primera fase forma una roseta de hojas de tamaño variable según las condiciones climáticas y posteriormente emite el tallo. De las axias de las hojas o desde el cuello surgen tallos laterales que dan lugar a ramificaciones secundarias, en las que pueden desarrollarse flores (Jiménez, 2010).

El tamaño de la planta es aproximadamente de 0,2 m. Las mejores épocas de siembra son en otoño e invierno ya que el tipo de clima en el que se desarrolla mejor es el templado, la temperatura óptima donde logra un mejor desarrollo es entre  $13$  a  $18^{\circ}\text{C}$ ; a mayor temperatura baja su rendimiento, puede ser afectada la germinación y el desarrollo del cultivo. Soporta temperaturas por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ , que si son persistentes ocasiona lesiones foliares, que producen una detención del crecimiento de la planta. La temperatura mínima mensual para este cultivo es aproximadamente  $5^{\circ}\text{C}$ .

Las zonas de producción son Junín (Tarma, Huancayo), Lima (Rímac, Chillón), Huaral y Cañete. Se obtiene un mejor desarrollo en suelos sueltos, ricos en materia orgánica. La espinaca es moderadamente tolerante a la salinidad, poco tolerante a la acidez, su pH óptimo está entre 6,0 y 6,8 (Ugás *et. al.*, 2000).

El uso de almacigueras garantiza un mayor porcentaje de germinación de la semilla de espinaca; ayuda a evitar la entrada de patógenos y plagas en la etapa más vulnerable del desarrollo de la planta. También, se reduce la pérdida de semilla en campo.

Vásquez *et. al.* (2014), indican que las necesidades de agua son variadas, al inicio el cultivo demanda poca agua y se incrementa cuando las hojas se desarrollan. El consumo promedio es de 390 ml por día por planta. Se recomienda regar entre 100 y 150 ml al principio y 400 ml cuando las hojas se desarrollen.

En la Figura 2 se puede apreciar la fenología del cultivo de espinaca, el crecimiento completo de la planta hasta floración lleva 14 semanas, sus etapas de desarrollo son: germinación, desarrollo vegetativo, madurez de consumo, floración y maduración de la semilla. Las plagas aparecen a partir de la tercera semana de crecimiento, estas pueden ser pulgones o gusanos soldados.

SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ETAPAS DE DESARROLLO														
	GERMINACIÓN	DESARROLLO VEGETATIVO						MADUREZ DE CONSUMO		FLORACIÓN	MADURACIÓN DE SEMILLA			SEMILLA MADURA
LABORES	SIEMBRA		ACLAREO	APLICACIÓN DE COMPOSTA				COSECHA					COSECHA DE SEMILLA	
PLAGAS Y ENFERMEDADES	DAMPING OFF													
	PULGONES													
							GUSANO SOLDADO							
CONTROL	AJO Y CHILE													

**Figura 2: Fenología del cultivo de espinaca**

FUENTE: SAGARPA (2014)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1 Ubicación del campo experimental

Esta investigación se realizó en un área adjunta a 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.

Se tomó como referencia los registros de los datos climáticos de la Estación Davis, perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6: Datos climáticos de la Estación Davis 2016**

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

FUENTE: Nichol, 2017

##### 3.1.2 Agua

La fuente para preparar las soluciones fue el agua de canal Ate, que se utiliza para regar los campos y jardines de la UNALM, cuyo análisis se muestra en el Cuadro 7.



**Cuadro 7: Análisis de muestra de agua de riego**

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

FUENTE: Nichol, 2017

Se observa que la conductividad eléctrica del agua con que se preparó los tratamientos y que será usada como testigo es ligeramente salina debido a que tiene una CE de 0,75 dS.m<sup>-1</sup>.

Con respecto a los parámetros que involucran al ion sodio como nocivo para la estructura del suelo, se calculó el RAS obteniéndose el valor de 0,77, corroborando que el agua es baja en sodio y presenta condiciones favorables para su uso en riego.

El contenido de boro y cloruros son muy bajos, con lo cual se confirma que el agua puede ser usada para preparar las soluciones de los tratamientos.

Con respecto a la salinidad efectiva (SE) y la salinidad potencial (SP) se obtuvieron valores de 2,09 y 2,21, respectivamente, que indican que el agua es buena y presenta condiciones óptimas para ser usada en riego.

### **3.1.3 Suelo**

Se utilizó para esta investigación aproximadamente 200 kg de suelo de textura arenosa, proveniente del distrito de Lurín.

### **3.1.4 Semillas**

Se utilizaron semillas del cultivo de espinaca proveniente del Huerto de la UNALM, con 90 por ciento de germinación.

### **3.1.5 Materiales y equipos**

- 36 macetas de 15 cm de diámetro y 18 cm de altura.
- Suelo arenoso procedente de Lurín, 200 Kg.
- Agua del canal Ate que se encuentra en la UNALM.
- 12 galoneras de 20 litros c/u, para almacenar las soluciones salinas.
- Cloruro de sodio
- Un conductivímetro
- Una probeta de plástico de 1 litro
- Bolsas de papel para muestra de suelos y para materia fresca, para secar al horno.
- Bolsas de plástico para recolección de muestras.
- Una regla
- Una bandeja de plástico
- Una balanza de precisión para pesar la materia fresca y seca
- Un horno para secar las muestras de suelo y la materia fresca
- Una bomba de succión de vacío, para los extractos de saturación del suelo
- Un mortero
- Agitador eléctrico, para homogenizar las muestras durante los ensayos
- Equipo espectrofotómetro
- Equipo de absorción atómica
- Campana extractora

- Picetas, matraces, tubos de ensayo, baquetas, pipetas, embudos de vidrio, agua destilada, envases de plástico, papel filtro.
- Plumón indeleble, lápiz, borrador y cuaderno de campo
- Reactivos varios.

## **3.2 PROCEDIMIENTO**

### **3.2.1 Metodología experimental**

La investigación se realizó con el cultivo de espinaca. El número de tratamientos fue de doce niveles de salinidad, con tres repeticiones, en total 36 macetas con suelo arenoso en el que se sembraron dos plantas de espinaca. Los tratamientos corresponden a agua de riego con diferente conductividad eléctrica (CE) para determinar el efecto de la salinidad en el crecimiento de la espinaca.

### **3.2.2 Preparación de las macetas**

Se lavó el suelo arenoso para eliminar el exceso de sales, utilizando una malla y agua del canal (Figura 3). Se prepararon 36 macetas, con 5 kg de suelo arenoso (Figura 4).

A cada maceta se le hicieron perforaciones en la base para facilitar el drenaje, se le adicionó una pequeña capa superficial de humus.



**Figura 3: Lavado de suelo arenoso**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 4: Macetas con suelo arenoso**

FUENTE: Elaboración propia

### **3.2.3 Siembra**

Las semillas se sembraron en camas de almácigo, hasta la aparición de las hojas verdaderas a las plántulas de espinaca (Figura 5).



**Figura 5: Cama de almácigo de espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

Por cada maceta se sembraron dos plántulas y se colocaron a una determinada distancia para que no interfieran en su crecimiento (Figura 6).



**Figura 6: Macetas con dos plántulas de espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.4 Preparación de soluciones salinas

Para la preparación de las soluciones salinas se utilizó cloruro de sodio (NaCl), diluido con el agua proveniente del canal ( $0,76 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Se eligió dicha sal debido a que es la que predomina en los suelos salinos y presenta mayor toxicidad. Se prepararon 12 soluciones, siendo cada una un tratamiento (T) a aplicar en cada maceta.

Los valores de la conductividad eléctrica (CE) de cada tratamiento fueron:

- T1:  $0,76 \text{ dS.m}^{-1}$
- T2:  $1,3 \text{ dS.m}^{-1}$
- T3:  $2,2 \text{ dS.m}^{-1}$
- T4:  $3,5 \text{ dS.m}^{-1}$
- T5:  $4,6 \text{ dS.m}^{-1}$
- T6:  $5,7 \text{ dS.m}^{-1}$
- T7:  $7,1 \text{ dS.m}^{-1}$
- T8:  $8,5 \text{ dS.m}^{-1}$
- T9:  $10 \text{ dS.m}^{-1}$
- T10:  $12 \text{ dS.m}^{-1}$
- T11:  $15 \text{ dS.m}^{-1}$
- T12:  $20 \text{ dS.m}^{-1}$

### 3.2.5 Aplicación de las soluciones salinas

La lámina de riego fue calculada según las necesidades hídricas del cultivo, aplicándose a cada maceta 250 ml cada dos días, dosis que varió a 300 ml de acuerdo al clima, ya que las temperaturas eran más altas en el último periodo de la investigación.

### 3.2.6 Manejo de plagas

Debido a que el cultivo se realizó en un campo experimental y controlado, la repercusión de la plaga en la espinaca no fue representativa, presentándose solo en una maceta la *Plutella xylostella* o polilla de las crucíferas (Figura 7), que ataca a nivel de follaje, formando galerías o agujeros en las hojas (Figura 8) que fue controlada con la aplicación de Dipel en polvo.



**Figura 7: *Plutella xylostella* o polilla de las crucíferas**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 8: Hoja con daños por la *Plutella xylostella***

FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.7 Determinación del tamaño de la planta

El tamaño de las plantas se midió después de la cosecha, antes de ponerlas a secar al horno. Para la altura total se consideró las hojas, el tallo y la raíz (Figura 9); la longitud aérea fue medida desde la parte donde comienza el tallo hasta la parte más alta de las hojas y por último se midió el tamaño de las raíces.



**Figura 9: Medición del tamaño de la espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

### **3.2.8 Determinación del peso fresco y seco de hojas, tallos y raíces**

Luego de la cosecha se llevaron las muestras al laboratorio donde se tomó medidas y pesos. Se determinó el peso de cada planta, primero de toda la planta (Figura 10), luego tallo, las hojas y por último raíces.



**Figura 10: Peso fresco de espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

Determinado el peso fresco las muestras fueron secadas a 70 °C por 24 horas, usando una estufa de aire forzado, con lo que se obtuvo el peso seco. (Figura 11).



**Figura 11: Peso seco de espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

### **3.2.9 Contenido de humedad**

Para determinar el contenido de humedad de la planta se calculó la diferencia entre el peso fresco y seco, dividiendo la diferencia entre el peso fresco.

### **3.2.10 Determinación de la conductividad eléctrica del suelo arenoso**

Para determinar la variación de la conductividad eléctrica del suelo, esta fue medida en el extracto de la pasta de saturación (Figura 12).



**Figura 12: Preparación de la pasta de saturación del suelo**

FUENTE: Elaboración propia





**Figura 13: Obtención de la conductividad eléctrica del suelo**

FUENTE: Elaboración propia

Se tomaron muestras de suelo arenoso al inicio, a la mitad y al final del crecimiento de la planta para medir la conductividad eléctrica. (Figura 14).



**Figura 14: Lectura de la CE**

FUENTE: Elaboración propia

### **3.2.11 Análisis foliar**

Las hojas secadas a la estufa, fueron molidas en un mortero. Luego fueron tratadas por vía húmeda para obtener un extracto con lo que se evaluaron los elementos, potasio, calcio, magnesio, sodio y sulfatos.

Para determinar la concentración de cloruros en la planta:

- Se pesó un gramo de muestra molida y después fue diluida con agua destilada. (Figura 15)
- Las muestras fueron agitadas por 20 minutos. (Figura 16)
- Se filtraron las muestras con una alícuota de 5 ml (Figura 17).
- La concentración de cloruro se determinó hallando la cantidad de gasto en la titulación. (Figura 18).



**Figura 15: Peso de muestras**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 16: Agitación de muestras**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 17: Filtración de muestras**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 18: Titulación de muestras**

FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.12 Análisis estadístico

El software utilizado para realizar el análisis estadístico fue el diseño completamente al azar (DCA) de los valores obtenidos fue el SPSS, es un sistema amplio, flexible de análisis estadístico y gestión de información que permite descubrir relaciones de dependencia, comportamientos, etc.

Su aplicación fundamental está orientada al análisis multivariante de datos experimentales.

- Resultados del análisis:

Las órdenes introducidas dan lugar a la salida de resultados que figuran en el panel. Empieza tu interpretación examinando la tabla "*Descriptive Statistics*" (Estadística Descriptiva). La estadística descriptiva proporciona los valores de la media y la desviación estándar de las variables en el modelo de regresión.

Se determinó la relación lineal entre las variables en la regresión examinando la tabla de análisis de varianza (ANOVA) que proporciona el SPSS. Se tiene en cuenta el valor de la estadística F y su nivel de importancia (denotado por el valor

"Sig"). Si el valor de F es estadísticamente significativo en un nivel de 0,05 o menos, esto sugiere una relación lineal entre las variables. La importancia estadística de un nivel 0,05 manifiesta que hay una posibilidad del 95 por ciento de que la relación entre las variables no se deba a la casualidad. Este es el nivel de importancia aceptado en la mayoría de los campos de investigación.

### **3.2.13 Relación entre las variables y el nivel de salinidad del suelo (CEe)**

La correlación entre las variables, peso fresco total promedio, peso seco total promedio y la altura promedio con la variable del nivel de salinidad, se determinó mediante las líneas de tendencia que presentaban los gráficos de dispersión de los resultados.

Se halló la ecuación de la curva de tendencia, así también el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) con el cual se escogió la línea de tendencia óptima para cada correlación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Al finalizar el periodo vegetativo, se procedió a cosechar las plantas de espinaca a los 70 días después del trasplante, ya que habían llegado al tamaño óptimo para su consumo.

### 4.1 RENDIMIENTO DE MATERIA FRESCA

#### 4.1.1 Peso total

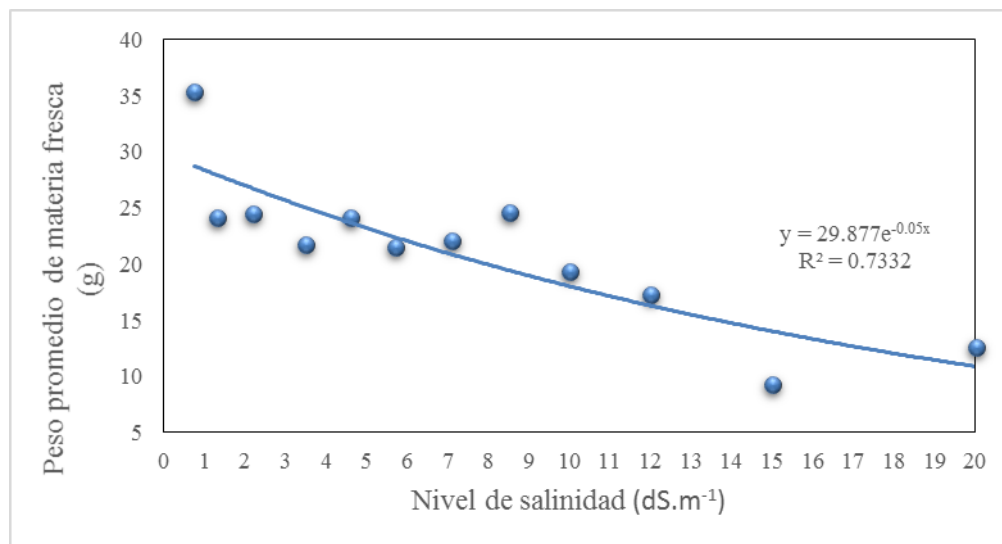
La materia fresca comprende las hojas, tallos y raíces, que fue pesada inmediatamente después de la cosecha, para evitar la pérdida de humedad. Los resultados se muestran en el Cuadro 8 y la gráfica que muestra la variación de los tratamientos se observan en la Figura 19.

**Cuadro 8: Peso total de materia fresca de espinaca**

TRAT.	Nivel de salinidad (dS.m <sup>-1</sup> )	Peso total promedio (g)	Peso aéreo promedio (g)	Peso radicular promedio (g)
T1	0,76	35,5	33,2	2,3
T2	1,3	24,3	22,8	1,5
T3	2,2	24,6	23,4	1,2
T4	3,5	21,8	20,3	1,5
T5	4,6	24,2	21,0	3,2
T6	5,7	21,5	18,9	2,6
T7	7,1	22,1	19,6	2,5
T8	8,5	24,7	22,2	2,5
T9	10	19,5	17,9	1,6
T10	12	17,3	15,9	1,5
T11	15	9,3	8,6	0,7
T12	20	12,7	11,6	1,1

FUENTE: Elaboración propia

Se observa que el mayor peso de materia fresca corresponde al tratamiento T1 (35,5 g), seguido del tratamiento T8 (24,7 g). El peso va disminuyendo con el incremento del nivel de la salinidad.



**Figura 19: Variación del peso total de la materia fresca promedio**

FUENTE: Elaboración propia

Los rendimientos fueron disminuyendo a partir del tratamiento T9, debido a la alta concentración de sales.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 4,39, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso total fresco promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce el mayor peso fresco promedio (35,5 g) seguido del tratamiento T2 (1,3 dS.m<sup>-1</sup>) que es el nivel óptimo de salinidad que indica Mass & Hoffmann (ANEXO 20). Mientras que el efecto del tratamiento T11, es el que produce el menor peso fresco promedio con 9,3 g (ANEXO1).

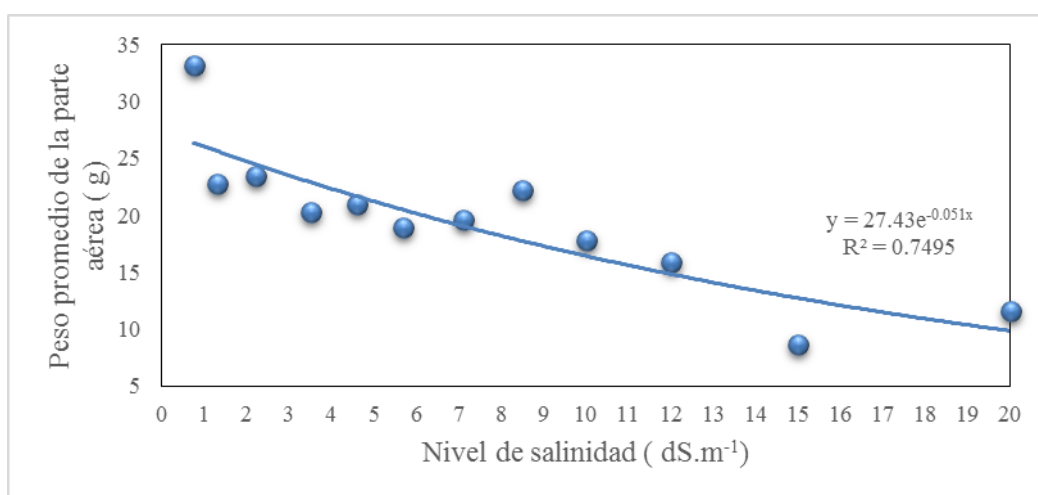
#### 4.1.2 Peso de la parte aérea

El peso aéreo de la materia fresca comprende hojas y tallos, medido inmediatamente después de la cosecha.

En el Cuadro 8 se observan los pesos promedio de la parte aérea de la planta de espinaca, que se representan en la Figura 20.

El tratamiento T1 tiene mayor peso aéreo, seguido del tratamiento T3 (27,9 g). Lo que significa que la planta de espinaca necesita un menor grado de salinidad para su desarrollo óptimo.

A partir del tratamiento T8 (8,5 dS.m<sup>-1</sup>) el peso va disminuyendo a medida que aumenta el nivel de salinidad. En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) el peso promedio aéreo fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.



**Figura 20: Variación del peso de la parte aérea promedio de la materia fresca**

FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 4,38, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso aéreo fresco promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce el mayor peso aéreo fresco promedio (33,1 g), seguido del tratamiento T2 (1,3 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que, el efecto del tratamiento T11, es el que produce el menor peso aéreo fresco promedio (8,6 g), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T12 (ANEXO 2).

### 4.1.3 Peso radicular

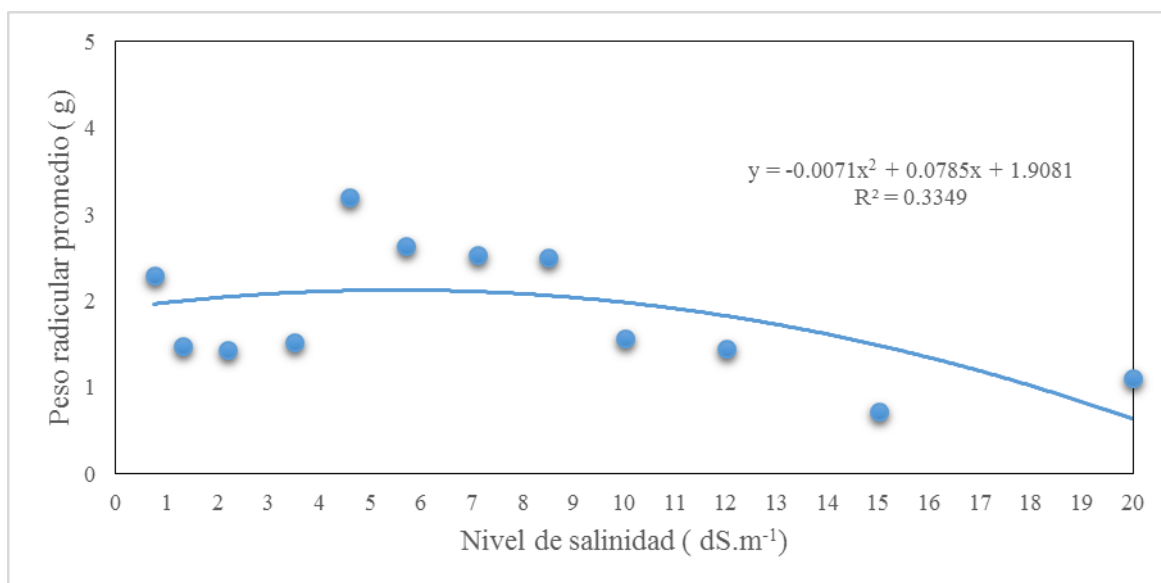
El peso radicular de la materia fresca comprende las raíces, medido inmediatamente después de la cosecha. En el Cuadro 8 se muestran los resultados de cada tratamiento.

El T5 es el que presenta mayor peso radicular fresco (3,2 g), seguido del tratamiento T6 (2,5 g). Luego, se presenta una tendencia decreciente con aumento de la salinidad.

Las plantas con niveles de salinidad mayores son los que tienen el peso promedio radicular más bajo debido a la alta salinidad a la que estuvieron sometidas las plantas.

En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) el peso radicular promedio fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.

En la Figura 21 se muestra la variación del peso promedio obtenido por cada tratamiento de la planta de espinaca.



**Figura 21: Variación del peso radicular de la materia fresca promedio**

FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 5,4, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso radicular fresco promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento



T5 (4,6 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce el mayor peso radicular fresco promedio (3,2 g) seguido del tratamiento T6 (5,7 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que, el efecto del tratamiento T11, es el que produce el menor peso radicular fresco promedio (0,7 g), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T12 con 1,1 g (ANEXO 3).

## 4.2 RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

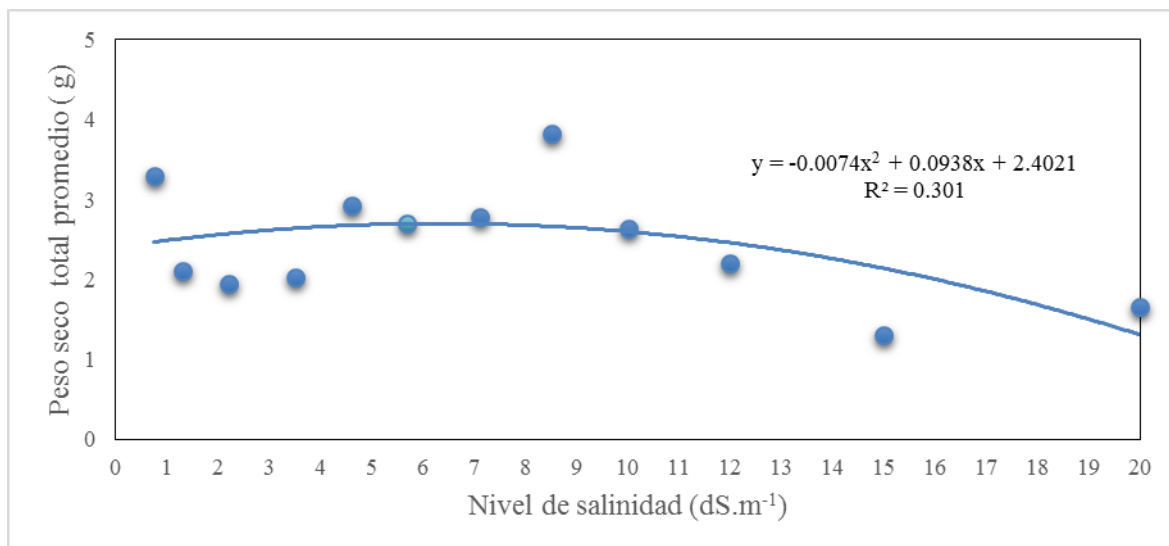
### 4.2.1 Peso total

El peso total de la materia seca comprende raíces, talos y hojas, medido después de haber sido secado en el horno. En el Cuadro 9 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento.

**Cuadro 9: Peso total de la materia seca del cultivo de espinaca**

TRAT.	Nivel de salinidad (dS.m <sup>-1</sup> )	Peso total promedio (g)	Peso aéreo promedio (g)	Peso radicular promedio (g)
T1	0,76	3,5	3,1	0,4
T2	1,3	2,1	1,9	0,2
T3	2,2	2,0	1,8	0,2
T4	3,5	2,0	1,8	0,2
T5	4,6	2,9	2,4	0,5
T6	5,7	2,7	2,1	0,6
T7	7,1	2,8	2,2	0,6
T8	8,5	3,8	3,1	0,7
T9	10	2,6	2,3	0,3
T10	12	2,2	1,8	0,4
T11	15	1,3	1,0	0,3
T12	20	1,7	1,5	0,2

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 22: Variación del peso total de la materia seca promedio**

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 22 se presenta la variación del peso seco promedio obtenido. El tratamiento con mayor peso seco es el T8 (8,5 dS.m<sup>-1</sup>).

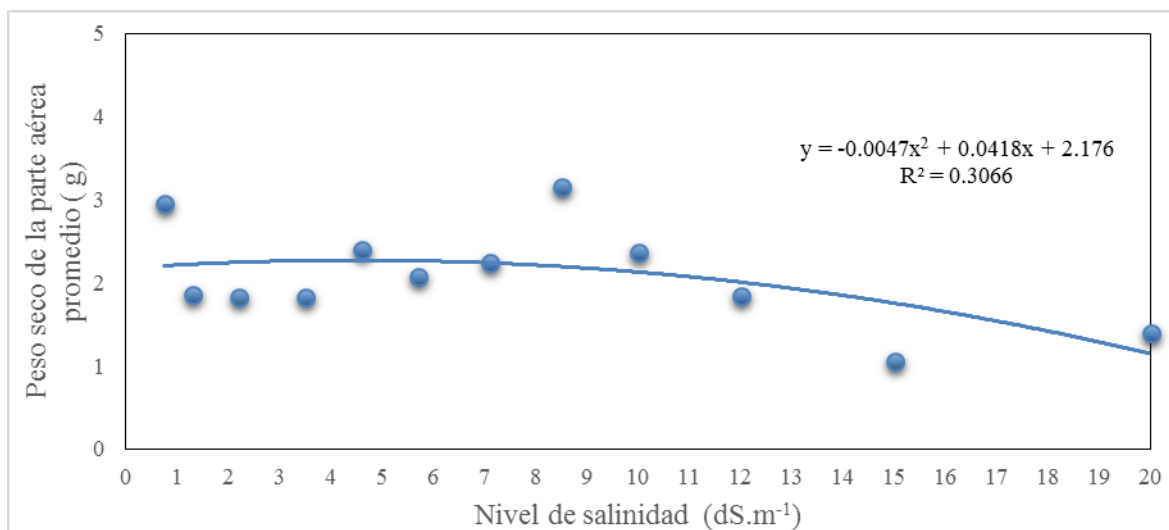
En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) el peso seco total promedio fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 3,403, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso total seco promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T8 (8,5 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce el mayor peso seco promedio (3,8 g) seguido del T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que, el efecto del tratamiento T11, es el que produce el menor peso seco promedio (1,3 g), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T12 con 1,6 g (ANEXO 4).

#### 4.2.2 Peso de la parte aérea

El peso de la parte aérea de la materia seca comprende las hojas y tallos, medido después de haber sido sacado del horno. En el Cuadro 9 se muestran los resultados de acuerdo a

cada tratamiento y en la Figura 23 se presenta la variación de los pesos aéreos promedios obtenidos.



**Figura 23: Variación del peso de la parte aérea de la materia seca promedio**

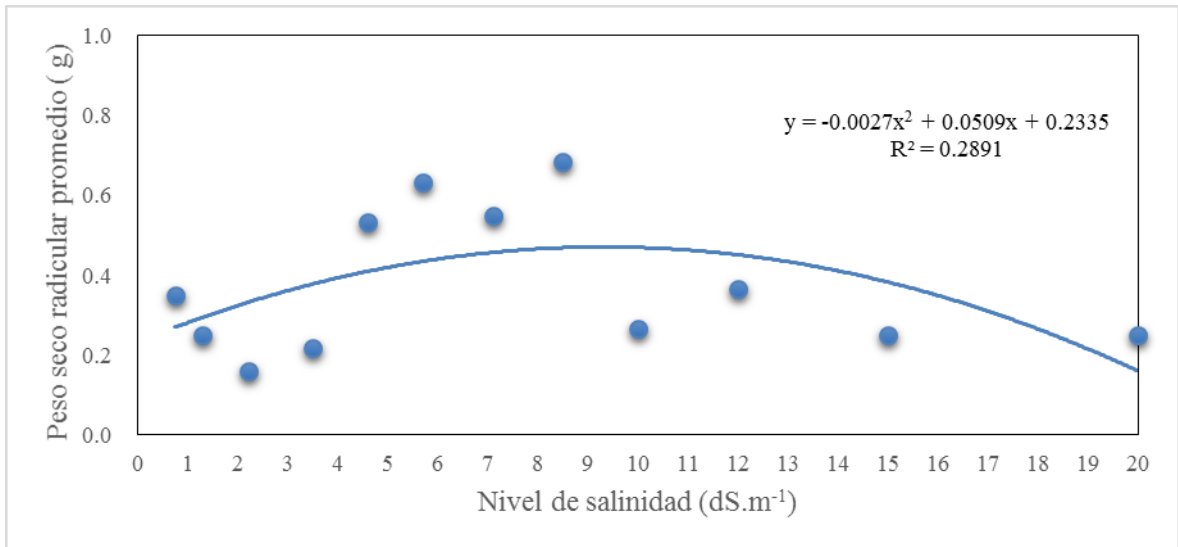
FUENTE: Elaboración propia

El tratamiento con mayor peso seco es el T8 (8,5 dS.m<sup>-1</sup>). En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) el peso de la parte aérea fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,8, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso aéreo seco promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T8 (8,5 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce el mayor peso aéreo seco promedio (3,15 g) seguido del T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que el efecto del tratamiento T11, es el que produce el menor peso seco promedio (1,05 g), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T12 con 1,4 g (ANEXO 5).

### 4.2.3 Peso Radicular

El peso radicular de la materia seca comprende las raíces, medido después de haber sido sacadas del horno. En el Cuadro 9 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Figura 24 se presenta la variación del peso radicular seco promedio obtenido.



**Figura 24: Variación del peso radicular de la materia seca promedio**

FUENTE: Elaboración propia

El peso seco radicular presenta una tendencia a disminuir conforme aumentan los niveles de salinidad a partir del tratamiento T8; el mayor peso radicular se presentó en las plantas que fueron regadas con agua de 8,5 dS.m<sup>-1</sup>.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 3,985, el valor F de Tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar el peso radicular seco promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T8 (8,5 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce el mayor peso radicular seco promedio (0,68 g) seguido del tratamiento T6 (5,7 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que el efecto del tratamiento T2, es el que produce el menor peso radicular seco promedio (0,133 g), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T4 con 0,2 g (ANEXO 6).

### 4.3 LONGITUD DE LA PLANTA

#### 4.3.1 Longitud total

La longitud total de la planta comprende hojas, tallos y raíces, medida después de la cosecha.

En el Cuadro 10 se muestran los resultados de acuerdo a cada tratamiento y en la Figura 25 se presenta la variación de los promedios obtenidos.

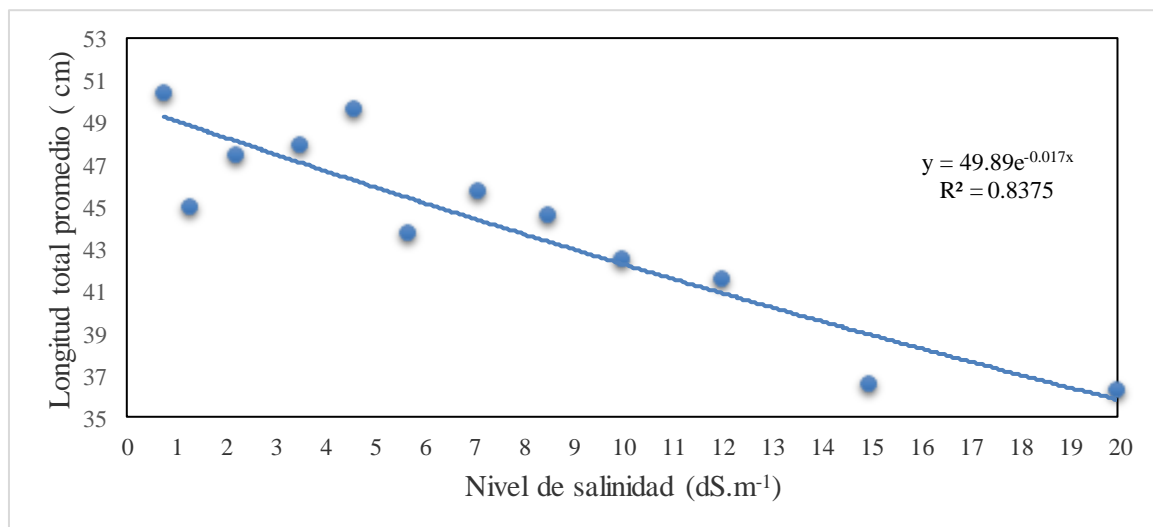
**Cuadro 10: Longitud total del cultivo de espinaca**

<b>TRAT.</b>	<b>Nivel de salinidad (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Longitud total promedio (cm)</b>	<b>Longitud aéreo promedio (cm)</b>	<b>Longitud radicular promedio (cm)</b>
T1	0,76	50,4	23,2	27,2
T2	1,3	44,9	22,8	22,1
T3	2,2	47,2	22,9	24,3
T4	3,5	47,9	23,1	24,8
T5	4,6	49,6	19,9	29,7
T6	5,7	43,7	19,6	24,1
T7	7,1	45,7	20,2	25,5
T8	8,5	44,5	20,1	24,4
T9	10	42,5	19,5	23
T10	12	41,5	19,3	22,2
T11	15	38,2	17,2	21
T12	20	36,2	15,7	20,5

FUENTE: Elaboración propia

Con el tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>) la planta tuvo más altura, seguida del tratamiento T5 (4,6 dS.m<sup>-1</sup>), después de este tratamiento los valores promedio tienden a disminuir con el aumento de los niveles de salinidad. Greenway y Munns (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.



**Figura 25: Variación de la longitud total promedio**

FUENTE: Elaboración propia

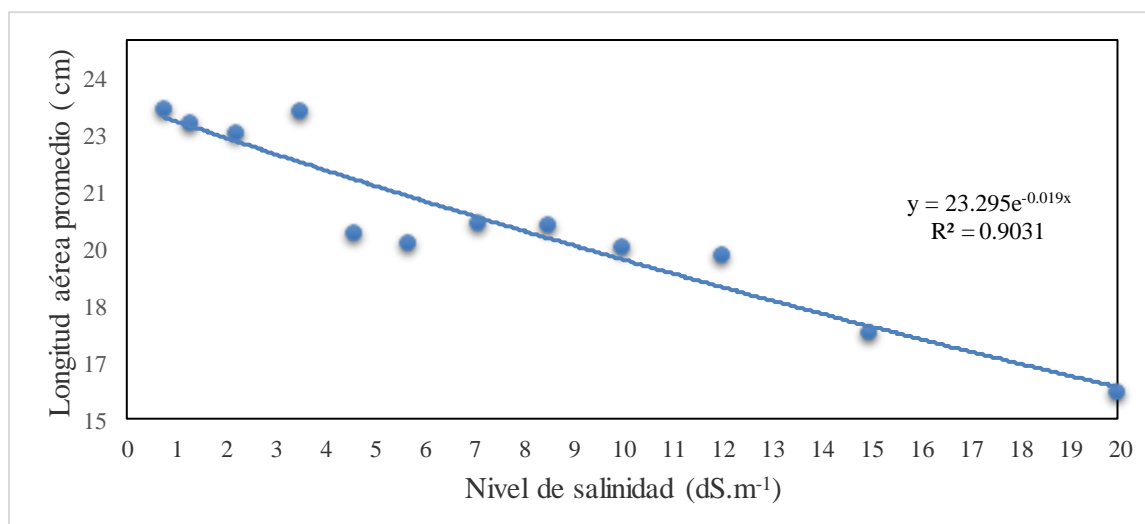
El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,72, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la longitud total promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>) es el que presenta la mayor longitud total promedio de la planta (50,35 cm) seguido del tratamiento T5 (4,6 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que, el tratamiento T12, es el que produce la menor longitud total promedio (36,15 cm), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T 11 con 36,5 cm (ANEXO 7).

#### 4.3.2 Longitud de la parte aérea

La longitud de la parte aérea comprende hojas y tallos, medidos después de la cosecha.

En el Cuadro 10 se muestran los resultados promedio de la longitud aérea obtenida. En la Figura 26 se presenta la variación del promedio obtenido que tiende a disminuir con el aumento de la salinidad.

Los resultados más altos se encuentran en el T1 y T4, los demás tienden a disminuir con el aumento del nivel de salinidad. En los tratamientos con mayor nivel de salinidad (a partir del tratamiento T9) se observaron quemaduras en los bordes de las hojas y debido a esto el área foliar disminuyó.



**Figura 26: Variación de la longitud aérea promedio**

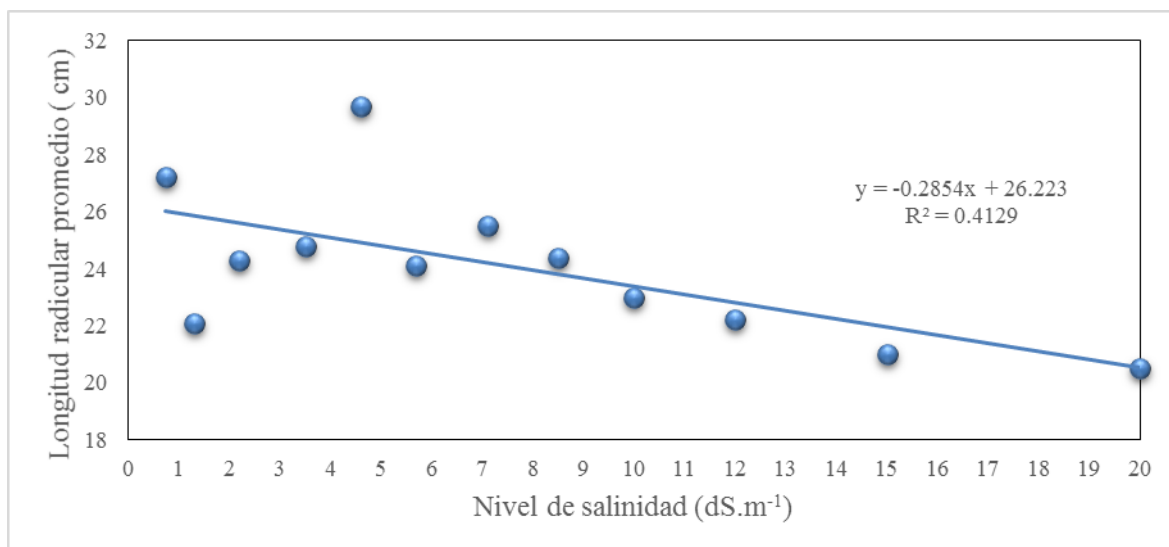
FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,857, el valor F de Tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la longitud aérea promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce la mayor longitud aérea promedio (23,167 cm), seguido del tratamiento T4 (3,5 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que el efecto del tratamiento T12, es el que produce la menor longitud aérea promedio (15,7 cm), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T11 con 17,2 cm (ANEXO 8).

### 4.3.3 Longitud radicular

La longitud radicular de la planta comprende solo las raíces, medida después de la cosecha. En el Cuadro 10 se muestran los resultados promedio de la longitud radicular obtenida.

La longitud radicular promedio tiende a disminuir con el aumento del nivel de salinidad, se observa en la Figura 27.



**Figura 27: Variación de la longitud radicular promedio**

FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 3,628, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la longitud radicular promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, la planta regada con el tratamiento T5 (4,6 dS.m<sup>-1</sup>) es el que presentó la mayor longitud total promedio (29,7 cm). Mientras que el efecto del tratamiento T20, es el que produce la menor longitud radicular promedio con 20,5 cm. (ANEXO 9).

## 4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

### 4.4.1 Contenido de humedad total

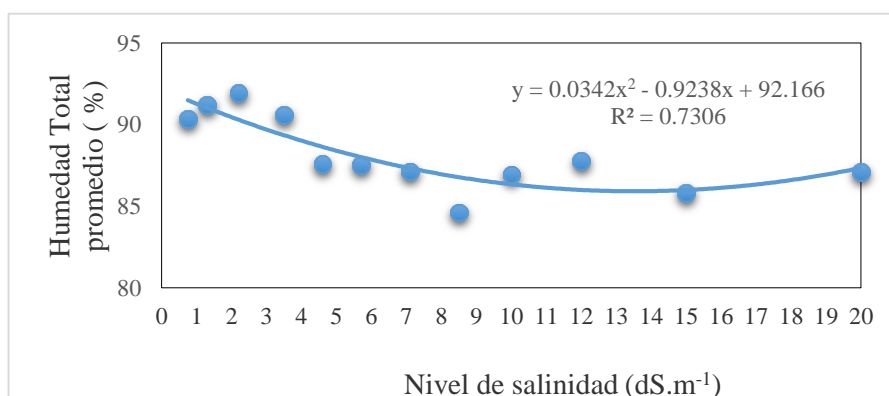
El contenido de humedad total expresa la cantidad de agua que existe en la planta y comprende hojas, tallos y raíces. Las sales solubles presentes en la solución del suelo generan una presión osmótica de acuerdo a su concentración, lo que afecta el ingreso del agua a la planta. En el Cuadro 11 se muestran los resultados del contenido de humedad (porcentaje) y en la Figura 28 se muestra la variación del contenido de humedad obtenido.



**Cuadro 11: Contenido de humedad total del cultivo de espinaca**

TRAT.	Nivel de salinidad (dS.m <sup>-1</sup> )	Humedad total promedio (%)	Humedad de la parte aérea promedio (%)	Humedad radicular promedio (%)
T1	0,76	90,4	89,4	84,1
T2	1,3	91,2	85,3	84,0
T3	2,2	92,1	73,1	87,1
T4	3,5	90,6	82,6	86,2
T5	4,6	87,6	83,1	82,0
T6	5,7	87,5	80,3	72,5
T7	7,1	87,1	82,7	76,5
T8	8,5	84,6	85,3	73,3
T9	10	87,0	81,1	82,3
T10	12	87,8	79,2	76,2
T11	15	85,8	61,1	65,2
T12	20	87,1	71,0	78,0

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 28: Variación de la humedad total de la espinaca**

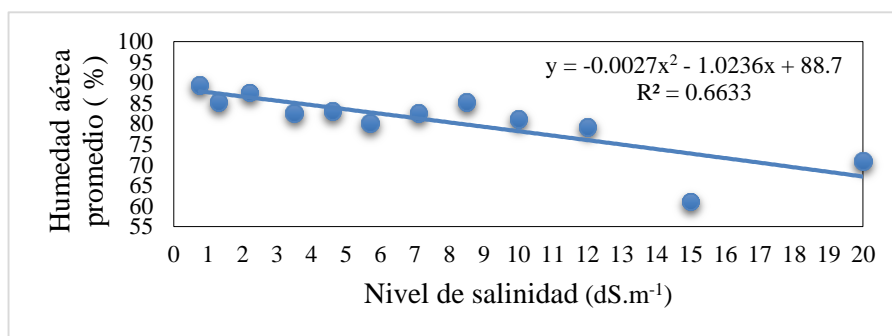
FUENTE: Elaboración propia

El mayor contenido de humedad se observó en el tratamiento T3 (2,2 dS.m<sup>-1</sup>), después, disminuyen progresivamente a medida que el nivel de salinidad aumenta. En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) la humedad total fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 0,7, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la humedad total promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T3 (2,2 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce la mayor humedad total promedio (92,1 por ciento) seguido del tratamiento T2 (1,3 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que el efecto del tratamiento T8 en la planta, es el que se obtiene la menor humedad total promedio (84,6 por ciento), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T11 con 85,8 por ciento (ANEXO 10).

#### 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 tallos. En el Cuadro 11 se muestran los resultados del contenido de humedad en porcentaje y en la Figura 29 se muestra la variación del contenido de humedad de la parte aérea obtenida. En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) la humedad de la parte aérea fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.



**Figura 29: Variación de la humedad de la parte aérea de la espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

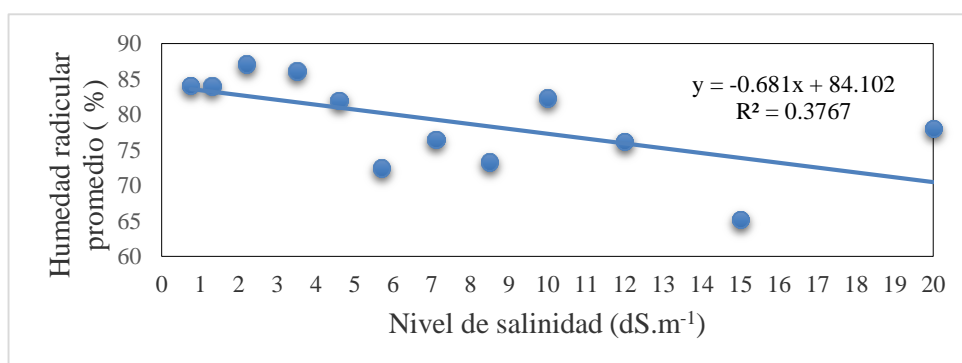
La tendencia general de los tratamientos es que decrece la humedad de la parte aérea con el aumento del nivel de salinidad.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,64, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la humedad aérea promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T1 ( $0,76 \text{ dS.m}^{-1}$ ) es el que produce la mayor humedad aérea promedio (89,4 por ciento) seguido del tratamiento T8 ( $8,5 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Mientras que el efecto del tratamiento T11, es el que produce la menor humedad de la parte aérea promedio (61,1 por ciento), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del T12 con 71 por ciento (ANEXO 11).

#### 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 las raíces. En el Cuadro 11 se muestran los resultados del contenido de humedad radicular en porcentaje, en la Figura 30 se muestra la variación de estos.

En el tratamiento 11 ( $15 \text{ dS.m}^{-1}$ ), la humedad radicular fue menor que en el tratamiento 12 ( $20 \text{ dS.m}^{-1}$ ), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.



**Figura 30: Variación de la humedad radicular promedio de la espinaca**

FUENTE: Elaboración propia

La tendencia general de los tratamientos es que decrece la humedad de la parte radicular con el aumento del nivel de salinidad.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,020, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la humedad radicular promedio de la espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T4 ( $3,5 \text{ dS.m}^{-1}$ ) es con el que se obtuvo mayor humedad radicular promedio (86,16 por ciento) seguido del tratamiento T3 ( $2,2 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Mientras que, el efecto del tratamiento T11 en la planta, presenta la menor humedad radicular promedio (65,2 por ciento), el segundo tratamiento con efecto significativo más bajo es del tratamiento T6 con 72,5 por ciento (ANEXO 12).

#### **4.5 CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN LA PLANTA DE ESPINACA**

##### **4.5.1 Concentración de potasio**

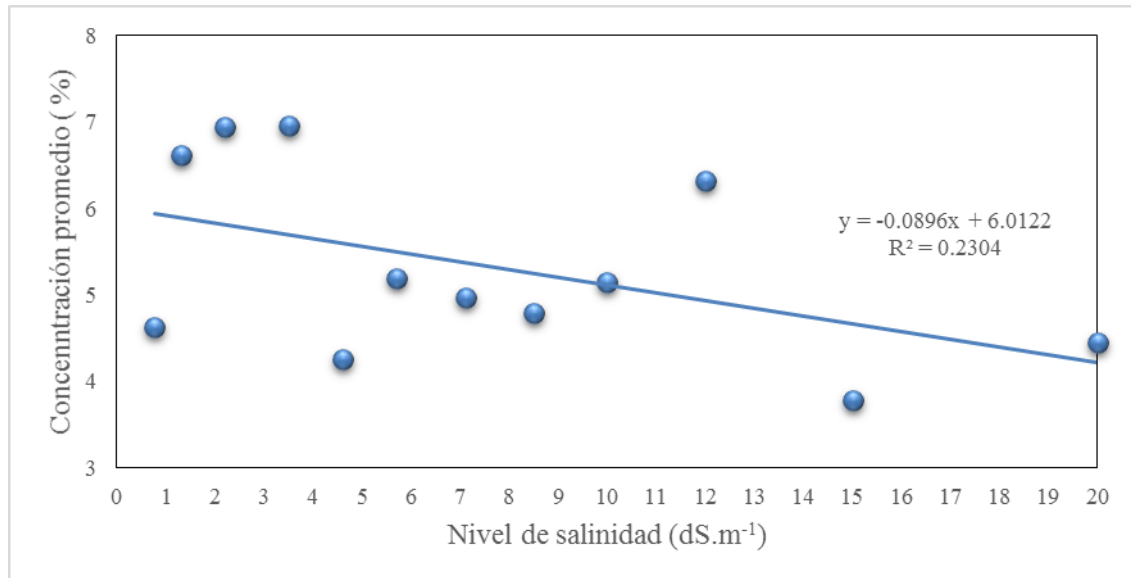
En el Cuadro 12 se muestran los resultados de la concentración de potasio promedio obtenidos por cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 31, el cual permite conocer la variación de la concentración durante el aumento de salinidad.

**Cuadro 12: Concentración de potasio**

<b>TRAT.</b>	<b>NIVEL DE SALINIDAD (<math>\text{dS.m}^{-1}</math>)</b>	<b>PROMEDIO (%)</b>
T1	0,76	4,6
T2	1,3	6,6
T3	2,2	7,0
T4	3,5	7,0
T5	4,6	4,3
T6	5,7	5,2
T7	7,1	5,0

T8	8,5	4,8
T9	10	5,1
T10	12	6,3
T11	15	3,8
T12	20	4,4

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 31: Concentración de potasio promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

De la Figura 31 se concluye que el nivel más alto de absorción es en los tratamientos T3 y T4, tiene una tendencia irregular. La deficiencia de potasio en la planta causa necrosis foliar, esto se observó en ciertas hojas tratadas con salinidad mayor a 8,5 dS.m<sup>-1</sup>. El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,7, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de potasio promedio en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T4 (3,5 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce la mayor concentración de potasio promedio (7,0 por ciento) seguido del tratamiento T2 (2,2 dS.m<sup>-1</sup>) aunque no difieren mucho. Mientras que el efecto del tratamiento T11, es el que produce la menor concentración de potasio promedio con 3,77 por ciento (ANEXO 13). El tratamiento T11

fue menor que el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.

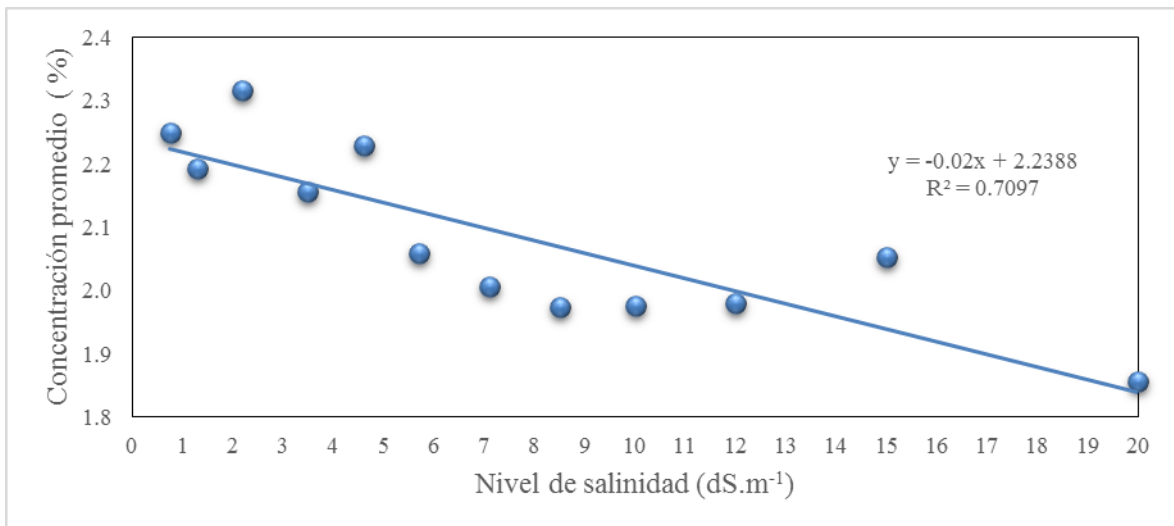
#### 4.5.2 Concentración de calcio

En el Cuadro 13 se muestran los resultados de la concentración de calcio promedio obtenidos por cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 32, el cual permite conocer la variación de éste durante el aumento de salinidad.

**Cuadro 13: Concentración de calcio**

<b>TRAT.</b>	<b>NIVEL DE SALINIDAD (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	<b>PROMEDIO (%)</b>
T1	0,76	2,3
T2	1,3	2,2
T3	2,2	2,3
T4	3,5	2,2
T5	4,6	2,2
T6	5,7	2,1
T7	7,1	2,0
T8	8,5	2,0
T9	10	2,0
T10	12	2,0
T11	15	2,1
T12	20	1,9

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 32: Calcio promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

La variación de calcio en los tratamientos no presenta valores muy diferenciados, la absorción es similar en los niveles de salinidad, siendo el tratamiento T12 el más bajo con 1,9 por ciento de contenido de calcio.

La concentración promedio de calcio tiende a disminuir con el aumento del nivel de salinidad.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 1,4, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de calcio promedio en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T3 (2,2 dS.m<sup>-1</sup>) es con el que se obtiene la mayor concentración de calcio promedio (2,3 por ciento) seguido del tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que, el efecto del tratamiento T12, es el que produce la menor concentración de calcio promedio con 1,86 por ciento (ANEXO 14).

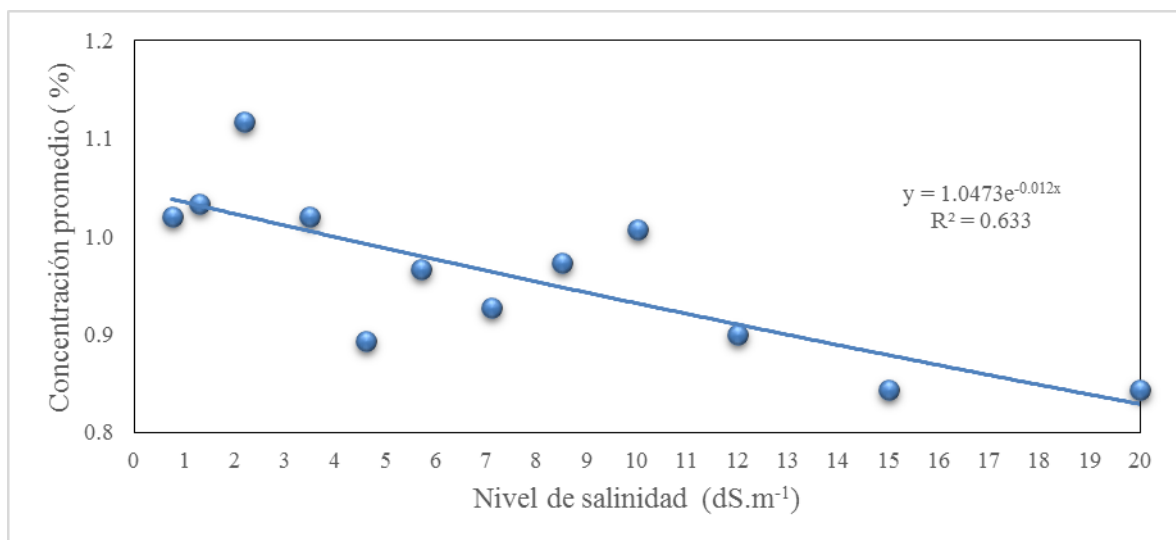
#### 4.5.3 Concentración de magnesio

En el Cuadro 14 se muestran los resultados de la concentración de magnesio promedio obtenidos por cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 33, el cual permite conocer la variación de éste durante el aumento de salinidad.

**Cuadro 14: Concentración de magnesio**

TRAT.	NIVEL DE SALINIDAD (dS.m <sup>-1</sup> )	PROMEDIO (%)
T1	0,76	1,0
T2	1,3	1,0
T3	2,2	1,1
T4	3,5	1,0
T5	4,6	0,9
T6	5,7	1,0
T7	7,1	0,9
T8	8,5	1,0
T9	10	1,0
T10	12	0,9
T11	15	0,8
T12	20	0,8

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 33: Concentración de magnesio promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 2,34, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas



salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de magnesio promedio en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T3 ( $2,2 \text{ dS.m}^{-1}$ ) es el que produce plantas con mayor concentración de magnesio promedio (1,12 por ciento) seguido del tratamiento T2 ( $1,3 \text{ dS.m}^{-1}$ ), aunque no difieren mucho. Mientras que, el efecto del tratamiento T12, es el que produce plantas con menor concentración de magnesio promedio con 0,843 por ciento (ANEXO 15).

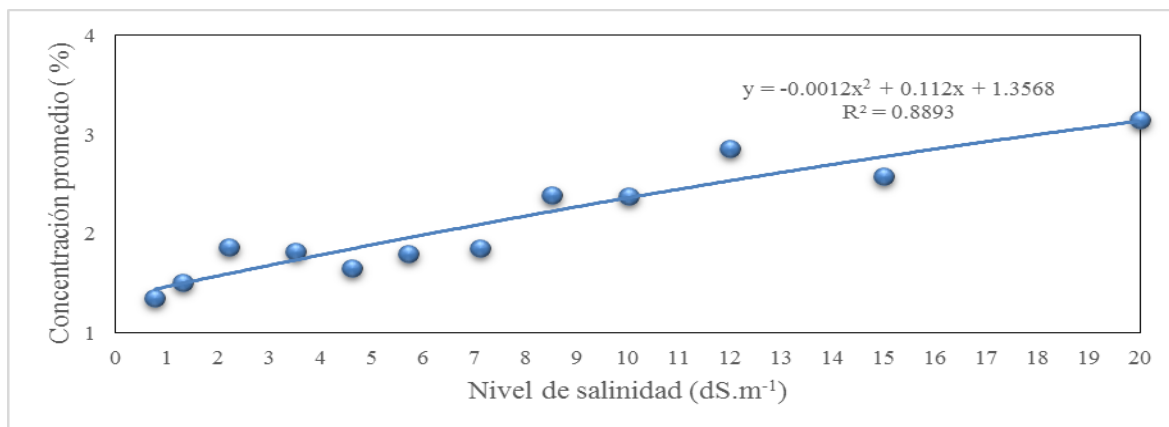
#### 4.5.4 Concentración de sodio

En el Cuadro 15 se muestran los resultados de la concentración de sodio promedio obtenidos por cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 34, el cual permite conocer la variación de éste durante el aumento de salinidad.

**Cuadro 15: Concentración de sodio**

<b>TRAT.</b>	<b>NIVEL DE SALINIDAD (<math>\text{dS.m}^{-1}</math>)</b>	<b>PROMEDIO (%)</b>
T1	0,76	1,4
T2	1,3	1,5
T3	2,2	1,9
T4	3,5	1,8
T5	4,6	1,7
T6	5,7	1,8
T7	7,1	1,9
T8	8,5	2,4
T9	10	2,4
T10	12	2,9
T11	15	2,6
T12	20	3,1

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 34: Concentración de sodio promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

La concentración de sodio promedio se incrementa con el aumento del nivel de salinidad.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 35,343, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de sodio promedio en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T12 (20 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce la mayor concentración de sodio promedio (3,2 por ciento) seguido del tratamiento T10 (12 dS.m<sup>-1</sup>), aunque no difieren mucho. Mientras que, el efecto del tratamiento T1, es el que produce plantas con menor concentración de sodio promedio con 1,4 por ciento (ANEXO 16).

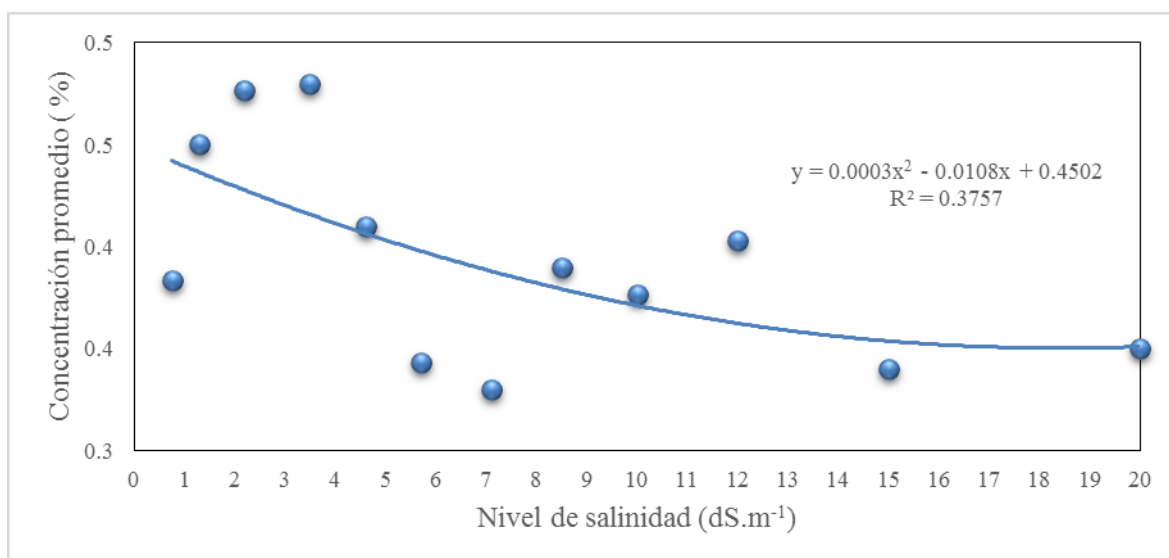
#### 4.5.5 Concentración de sulfatos

En el Cuadro 16 se muestran los resultados de la concentración de sulfatos promedio obtenido por cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 35, el cual permite conocer la variación de éste durante el aumento de salinidad. En el tratamiento 11 (15 dS.m<sup>-1</sup>) la concentración de potasio fue menor que en el tratamiento 12 (20 dS.m<sup>-1</sup>), esto se debe a errores humanos durante la fase experimental.

**Cuadro 16: Concentración de sulfatos**

TRAT.	NIVEL DE SALINIDAD (dS.m <sup>-1</sup> )	PROMEDIO (%)
T1	0,76	0,4
T2	1,3	0,5
T3	2,2	0,5
T4	3,5	0,5
T5	4,6	0,4
T6	5,7	0,3
T7	7,1	0,3
T8	8,5	0,4
T9	10	0,4
T10	12	0,4
T11	15	0,3
T12	20	0,4

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 35: Concentración de sulfatos promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 3,433, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas

salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de sulfatos promedio en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T4 (3,5 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce plantas con mayor concentración de sulfatos promedio (0,5 por ciento) seguido del tratamiento T3 (2,2 dS.m<sup>-1</sup>), aunque no difieren mucho. Mientras que, el efecto del tratamiento T7, es el que produce la menor concentración de sulfatos promedio con 0,33 por ciento no se diferencia mucho del tratamiento T11 que es 0,34 por ciento (ANEXO 17).

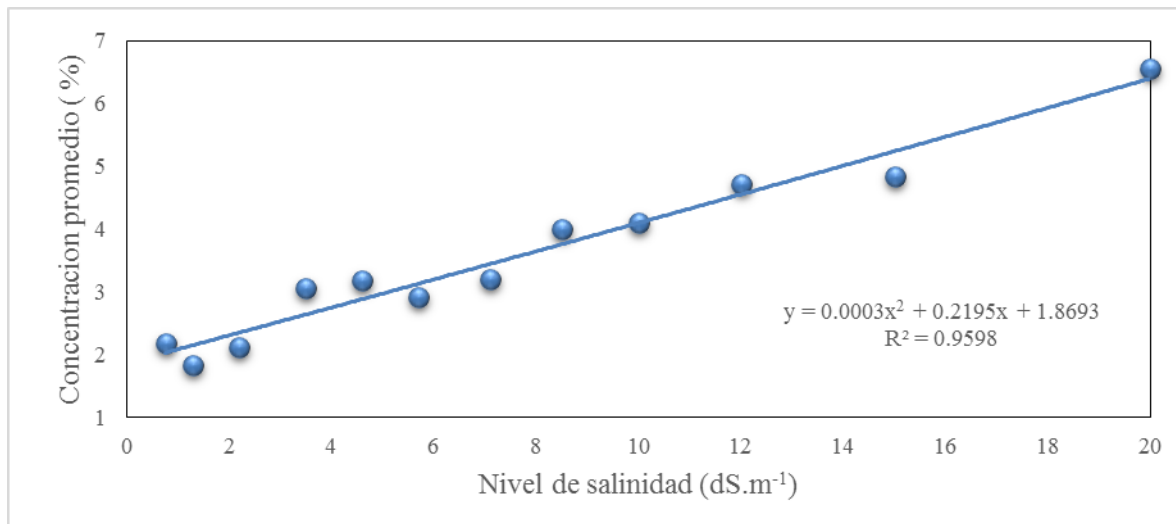
#### 4.5.6 Concentración de cloruros

En el Cuadro 17 se muestran los resultados de la concentración de cloro promedio obtenido por cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 36, el cual permite conocer la variación de éste durante el aumento de salinidad.

**Cuadro 17: Concentración de cloruros**

<b>TRAT.</b>	<b>NIVEL DE SALINIDAD (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	<b>PROMEDIO (%)</b>
T1	0,76	2,2
T2	1,3	1,8
T3	2,2	2,1
T4	3,5	3,1
T5	4,6	3,2
T6	5,7	2,9
T7	7,1	3,2
T8	8,5	4,0
T9	10	4,1
T10	12	4,7
T11	15	4,8
T12	20	6,5

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 36: Concentración de cloruros promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

La concentración de cloruros promedio tiende a aumentar con el incremento del nivel de salinidad.

El estadístico de prueba valor de F calculado es 29,5, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de cloruros promedio en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T12 (20 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce en la planta mayor concentración de cloruros promedio (1,7 por ciento) seguido del tratamiento T10 (12 dS.m<sup>-1</sup>). Mientras que, el efecto del tratamiento T1, es el que produce en la planta, la menor concentración de cloruros promedio con 0,61 por ciento, no se diferencia mucho del tratamiento T2 que es 0,69 por ciento (ANEXO 18).

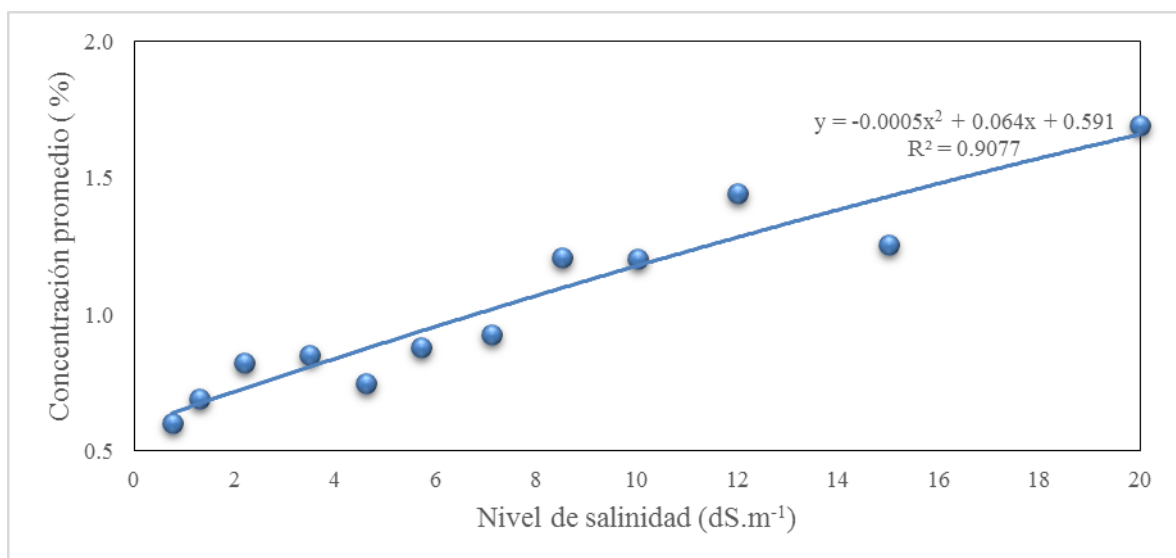
#### 4.5.7 Relación Na<sup>+</sup>/Ca<sup>+2</sup>

En el Cuadro 18 se muestran los resultados de la relación Na<sup>+</sup>/Ca<sup>+2</sup> promedio obtenido en cada tratamiento, cuya representación gráfica se muestra en la Figura 37, el cual permite conocer la variación de éste durante el aumento de salinidad.

**Cuadro 18: Relación Na/Ca**

TRAT.	NIVEL DE SALINIDAD (dS.m <sup>-1</sup> )	PROMEDIO (%)
T1	0,76	0,6
T2	1,3	0,7
T3	2,2	0,8
T4	3,5	0,9
T5	4,6	0,7
T6	5,7	0,9
T7	7,1	0,9
T8	8,5	1,2
T9	10	1,2
T10	12	1,4
T11	15	1,3
T12	20	1,7

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 37: Concentración de Na/Ca promedio en cada tratamiento**

FUENTE: Elaboración propia

El estadístico de prueba valor de F calculado es 27,7, el valor F de tabla para un nivel de significación del cinco por ciento es 2,35; es decir, el efecto de los tratamientos de aguas salinas son significativos a ese nivel. Por lo tanto de acuerdo al análisis de varianza, existe suficiente evidencia estadística, a un nivel de significación del cinco por ciento que al menos uno de los niveles de salinidad del agua de riego difiere del resto al analizar la concentración de **Na/Ca** en el cultivo de espinaca. Del análisis de Duncan, el efecto del tratamiento T12 (20 dS.m<sup>-1</sup>) es el que produce la mayor concentración de **Na/Ca** (1,7 por ciento). Mientras que, el efecto del tratamiento T1, es el que produce la menor concentración de **Na/Ca** con 0,6 por ciento no se diferencia mucho del tratamiento T1 que es 0,69 por ciento (ANEXO 19).

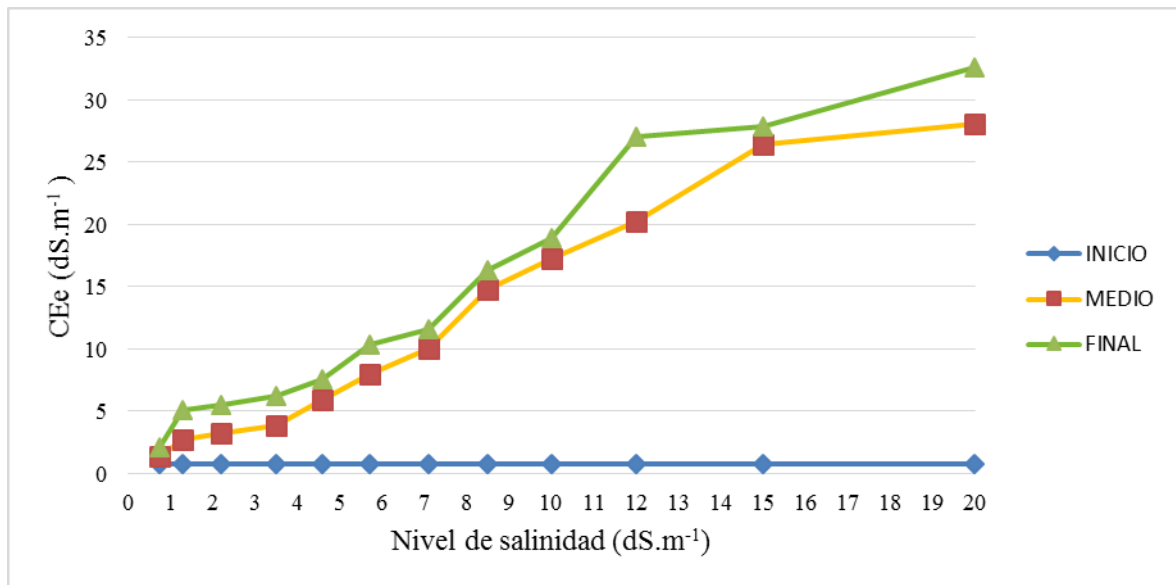
#### 4.5.8 Variación de los niveles de salinidad en el suelo

En el Cuadro 19 se muestran los valores obtenidos de la medición de la conductividad eléctrica del suelo al inicio, medio y final del periodo de crecimiento de la planta.

**Cuadro19: CE del suelo durante el crecimiento de la espinaca.**

TRAT.	NIVEL DE SALINIDAD (dS.m <sup>-1</sup> )	CEe (dS.m <sup>-1</sup> )		
		Inicio	Medio	Final
T1	0,76	0,76	1,36	2,08
T2	1,3	0,76	2,7	5,09
T3	2,2	0,76	3,23	5,51
T4	3,5	0,76	3,88	6,21
T5	4,6	0,76	5,9	7,59
T6	5,7	0,76	8,01	10,36
T7	7,1	0,76	10,07	11,62
T8	8,5	0,76	14,8	16,31
T9	10	0,76	17,24	18,92
T10	12	0,76	20,23	27,03
T11	15	0,76	26,4	27,92
T12	20	0,76	28,1	32,6

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 38: Variación de la CEE durante el experimento**

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 38 se puede ver la variación de la CEE durante el periodo de crecimiento de la planta de espinaca.

Comparando los resultados de la CEE a la mitad del experimento con los iniciales, se observa un incremento del nivel de sales en el suelo conforme va aumentando la salinidad del agua de riego. El valor más bajo es el del tratamiento T1 a mediados y al final del experimento, en este tratamiento se obtuvo mejores resultados en cuanto a crecimiento de la planta de espinaca. Los niveles de salinidad del suelo de los últimos tratamientos fueron bastante altos, lo que está en relación con la clorosis que presentaron algunas hojas debido al exceso de sales a los cuales estuvo sometida. Esto implica que la planta estuvo perdiendo agua para así poder equilibrar el medio.

A medida que aumenta el contenido de sales en la solución del suelo, se incrementa la tensión osmótica y por lo tanto la planta tiene que hacer un mayor esfuerzo de succión para absorber el agua por las raíces, disminuyendo así la cantidad de agua disponible para la planta (estrés hídrico), traduciéndose en problemas fisiológicos.

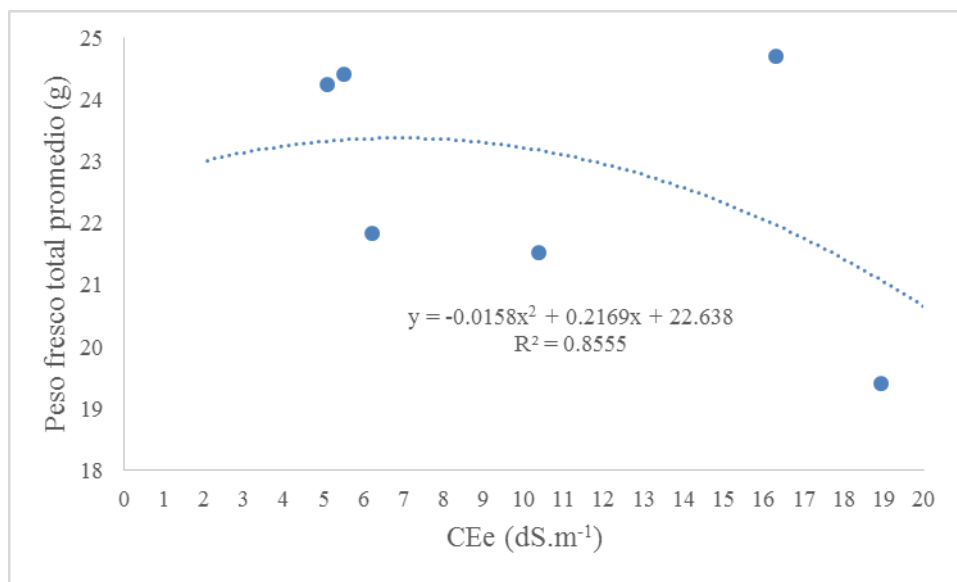


#### 4.6 RELACION ENTRE LAS VARIABLES Y LA CEe.

Las variables analizadas fueron: peso fresco total, peso seco total y altura. La conductividad eléctrica del suelo (CEe) que se utilizó fue la que se obtuvo al final del experimento.

El peso total fresco tiende a disminuir a mayor nivel de salinidad, a partir del tratamiento T3 empieza a descender el peso del cultivo con una conductividad eléctrica de  $2,2 \text{ dS.m}^{-1}$ .

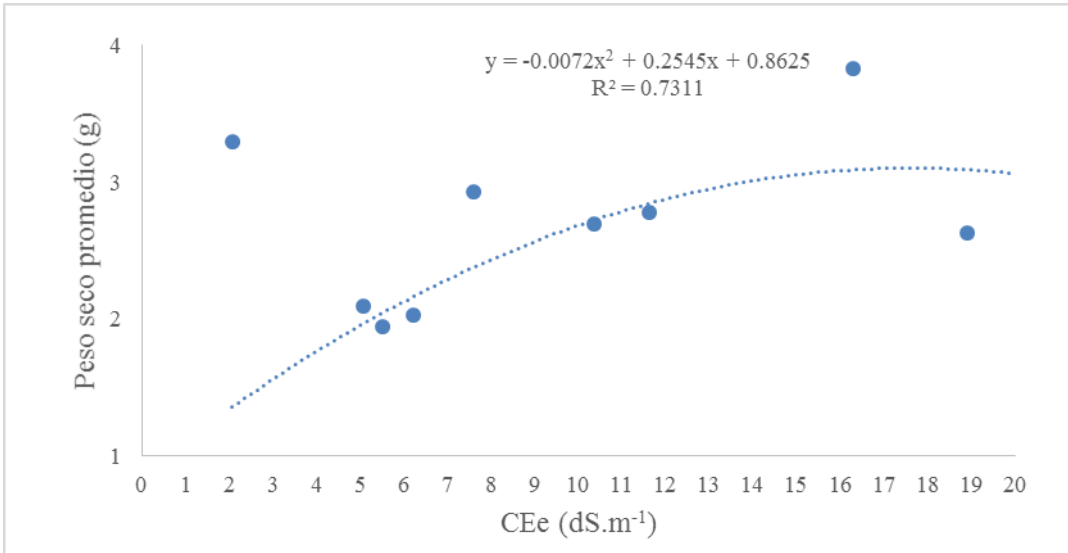
En la Figura 39 se muestra la curva de tendencia que es polinómica de segundo grado, donde el valor de  $R^2$  es la correlación de las variables de peso seco total promedio y CEe dando 0,8555, lo que significa que el 85,55 por ciento de la variabilidad del peso fresco está asociada a la variabilidad de la CEe.



**Figura 39: Variación del peso fresco total promedio con la CEe**

FUENTE: Elaboración propia

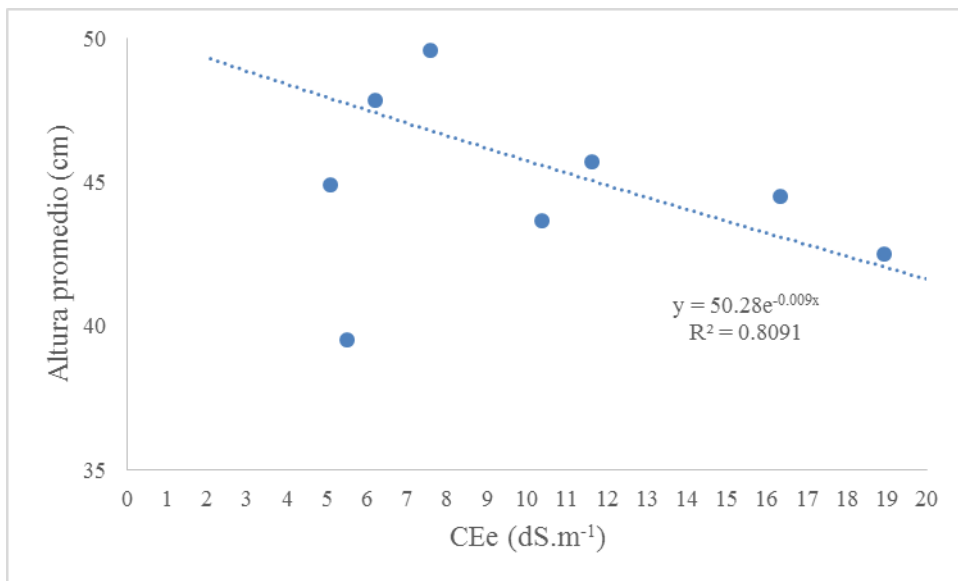
En la Figura 40 se muestra la curva de tendencia que es polinómica de segundo grado, donde el valor de  $R^2$  es de 0,7311 lo que significa que el 73,11 por ciento de la variabilidad del peso seco está asociada a la variabilidad de la CEe.



**Figura 40: Variación del peso seco total promedio con la CEE**

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 41 se muestra la tendencia de la curva exponencial, donde el valor de  $R^2$  es de 0,8091 lo que significa que el 80,91 por ciento de la variabilidad de la altura está asociada a la variabilidad de la CEE.



**Figura 41: Altura promedio Vs. CEE**

FUENTE: Elaboración propia

## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo al objetivo principal planteado, se comprobó que la salinidad si afectó el crecimiento de la planta; el peso total tanto en fresco como en seco, fue mayor en los tratamientos con menor nivel de salinidad, el tratamiento T1 ( $0,76 \text{ dS.m}^{-1}$ ) fue el que tuvo mayor peso fresco total (35,5 g) y el tratamiento con menor peso fue el T11 (9,3 g).
- De la relación entre la CEE y los parámetros analizados se determinó que la variabilidad del peso seco, fresco y la altura están asociados a la variabilidad de la Conductividad eléctrica del suelo.
- El peso seco total de la espinaca presentó una tendencia a disminuir a partir del tratamiento T8 ( $8,5 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Con este tratamiento se obtuvo el mayor resultado (3,8 g) y el menor peso se obtuvo con el tratamiento T11 (1,3 g).
- La mayor altura de la planta se encontró en el tratamiento T1 (50,4 cm), después del T5 se observó una disminución progresiva. La mayor altura de la parte aérea fue 23,2 cm con el T1 y la menor longitud fue 15,7cm con el T12. La longitud de las raíces fue mayor en el T5 (29,7 cm) y la menor en el T12 (20,5 cm).
- La mayor concentración de sodio y cloruros promedio más alto se obtuvo en el tratamiento T12 ( $20 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Estas variables aumentan en forma directamente proporcional al nivel de salinidad.
- La concentración del ion magnesio es baja, los tratamientos presentaron deficiencia de este elemento; se concluye que este elemento fue desplazado por el sodio en la absorción radicular ya que son elementos de propiedades opuestas.
- En relación con la clorosis que presentaron algunas hojas, se debió al exceso de sales a los cuales estuvieron sometidas. La afectación por concentraciones de sales presenta efectos adversos, los cuales pueden ser necrosis y también disminución del crecimiento.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Desarrollar este tipo de trabajo de investigación en campo con diferentes tipos de suelo, niveles de fertilizante, de cultivo y salinidad.
- Tener cuidado en la cantidad de agua de riego que se debe aplicar dado que un exceso de agua puede propiciar el crecimiento de bacterias, hongos y otras enfermedades en la planta por exceso de humedad.
- Realizar el análisis foliar de otros elementos (hierro y fósforo) para tener un mejor alcance de los resultados de absorción de nutrientes.
- En la evaluación de este cultivo se debe tener precaución de no confundir los efectos de una baja fertilidad del suelo con los efectos de un alto nivel de salinidad; las plantas con baja fertilidad presentan comúnmente decoloración de hojas (verde amarillentas).

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- AgroEs. 2016. Calidad del agua de riego para la agricultura. Consultado el 10 nov. del 2016. Disponible en: <http://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/321-calidad-agua-riego-agricultura>.
- Alcaraz, F.; Clemente, M.; Barreña, J. y Álvarez, J. 1999. Manual de teoría y práctica de Geobotánica. ICE. Universidad de Murcia y Diego Marín. ES.
- Alva, C. 1976. Problemas de drenaje y salinidad en la costa peruana. Instituto Internacional de Recuperación y Mejora de la Tierra. ILRI. PE.
- Ayers, A.; Hayward, H. 1948. A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13. US. 224-226.
- Ayers, R.; Westcott, D. 1978. Water quality of agriculture. FAO. Irrigation and drainage. Paper 29. Rev. 1. Food and Agriculture Organization. IT.
- Bendezú, D. 1999. Efecto de niveles de salinidad del agua de riego y su correlación en el desarrollo y nutrición mineral de algunos cultivares de papa. Tesis Ingeniero Agrícola. La Molina, PE.
- Colmenares, J. 1972. Efecto de la salinización del suelo sobre el crecimiento y producción del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). CR.
- Cruz-Romero, G. 1983. Tolerancia de las plantas a la salinidad. En: Reunión Internacional de suelos afectados por sales en América Latina. Maracay.
- Dominguez, V. 1984. Use of brackish waters in horticulture. Water Quality Bull.
- Fuentes, J. 2003. Técnicas de riego - sistemas de riego en la agricultura. Mundi-Prensa. Madrid, ES.
- García, S. 2000. Suelos salinos y sódicos: problemática y manejo. Facultad de Agronomía. UNALM. PE.

- García, Y. 2015. Calidad del agua con fines de riego. Revista digital de Medio Ambiente “Ojeando la agenda” ISSN 1989 – 6794, N°35 Mayo 2015. Consultado el 10 de Ene. 2017. Disponible en: <https://ojeandolaagenda.com/2015/05/24/calidad-del-agua-con-fines-de-riego-quality-of-the-water-with-ends-of-watering/>
- Goicochea, J. 2012. Ingeniería de drenaje. La Molina, PE.
- Goicochea, J. 2004. Ingeniería de drenaje. Facultad de Ingeniería agrícola – Departamento de recursos de agua y tierra. La Molina. PE.
- Greenway, H y Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Department of agronomy, University of Western. Nedlands, AU.
- Hurtado, L. 1988. Agricultura de zonas áridas. Ica: Boletín N°16 AIDER. Lima, PE.
- Hurtado, L. 2003. Manejo y conservación del suelo: Fundamentos y prácticas. segunda ed. Lima, PE.
- INADE (Instituto Nacional de Desarrollo). 2010. Investigación sobre el problema de la salinidad en los suelos en la costa peruana (en línea). Consultado 15 jul. 2017. Disponible en <http://apiperu.com.pe/Presentaciones/salina1.pdf>
- Jiménez, J. 2010. El cultivo de la espinaca (*Spinacia Oleracea L.*) y su manejo fitosanitario. 2010. COL.
- Leidi, E. y Pardo, M. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino. Revista de investigaciones de la Facultad de ciencias agrarias. MX.
- López, D. 2015. Efecto del nivel de salinidad del agua y la textura del suelo en el cultivo de rúcula (*Eruca sativa mill*). Tesis Ingeniero Agrícola. UNALM. PE.
- Mass, E. 1986. Salt tolerance of plants. Applied Agricult. Res 1. EU.
- Mass, E. y Hoffman G. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE. E.U.
- Mieri, A. y Poljakoff - Mayber, A. 1970. Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion and transpiration rate of vean plants. EU.

- Moya, E. 2012. Evaluación de la salinidad del agua de riego en el desarrollo y nutrición del maíz bajo diferentes niveles de fertilización. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. PE.
- Nichol, O. 2017. Niveles de salinidad del agua de riego en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* var. *Longifolia*) en suelo arenoso. Tesis Ingeniería Agrícola. UNALM. PE.
- Nuñez, M., Mazorra, M., Martinez, L., Gonzales, C. y Robaina, C. 2007. Análogos de brasinoesteroides revierten parcialmente el impacto del estrés salino en el crecimiento inicial de las plántulas de dos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.). Cultivos Tropicales. MX.
- Prieto, D. 2008. Riego con aguas salinas y aguas de drenaje, control de impacto de la salinidad. INTA. ARG.
- Resh, H. 1987. Cultivos hidropónicos. Editorial Mundi Prensa. Segunda edición. ES.
- Richards, L.; Brown J.; Hayward, H.; Bernstein, L.; Pearson G.; Wilcox, L.; Bower C. y Reeve, R. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa. MX.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación). 2014. Programa integral de desarrollo rural. Carta Tecnológica n°9, Cultivo de la espinaca. MX.
- 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 Ingeniero Agrícola. UNALM. PE.
- Sarmiento, A. 1998. Efecto de la salinidad sobre el desarrollo de plántulas de maracuyá amarillo (*Pasiflora edulis* var. *Flavicarpa*) y maracuyá morado (*Pasiflora edulis*) bajo condiciones de vivero. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. PE.
- Sevilla, M. 1986. Copias mimeografiadas del curso de salinidad y recuperación de tierras. UNALM. PE.

- Sifuentes, E. 1992. Producción de camote (*Ipomoea batatas L. Lam*) bajo condiciones de uso de aguas salinas, suelo de arena y riego por goteo. Tesis Ing. Agrícola. UNALM. PE.
- Schwarz, M. 1963. The use of brackish water in hydroponic systems. Plant and soil 19. EU.
- Ugás, R; Siura, S; Delgado de la Flor, F; Casas, A. y Toledo, J. 2000. Programa de Hortalizas. UNALM. Lima, PE.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1954. Diagnosis and improvement of saline and Alkali Soils. Agr. Handbook N° 60. US Government Printing Office. Washington. 160 pp.
- USLS (United States Laboratory Salinity). 1972. Sobre la utilización de la clasificación de agua de riego. GEOGACETA. EU.
- Valverde, C. 1966. Consideraciones generales acerca del efecto de las sales en los suelos y en la producción. Simposium sobre la salinidad. Dirección General para la zona Andina IICA. La Molina. Lima. PE.
- Vásquez, M; Magaña, N y López, G. 2014. Programa integral de desarrollo rural. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. MX.



## **VIII. ANEXOS**

## ANEXO 1: Análisis estadístico del peso fresco total

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para todo  $i = 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

Para al menos algún  $i$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: PESO TOTAL					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2860,823 <sup>a</sup>	11	260,075	4,390	,000
Intersección	33084,494	1	33084,494	558,422	,000
Salinidad	2860,823	11	260,075	4,390	,000
Error	3554,783	60	59,246		
Total	39500,100	72			
Total corregido	6415,606	71			

a. R al cuadrado = ,446 (R al cuadrado ajustada = ,344)

**Figura 42: Prueba de efectos inter-sujetos de peso total**

FUENTE: Elaboración propia

PESO TOTAL					
Duncan <sup>a,b</sup>					
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
15,00	6	9,317			
20,00	6	12,700	12,700		
12,00	6	17,317	17,317	17,317	
10,00	6		19,417	19,417	
5,70	6		21,517	21,517	
3,50	6		21,833	21,833	
7,10	6		22,100	22,100	
4,60	6			24,200	
1,30	6			24,250	
2,20	6			24,417	
8,50	6			24,700	
,75	6				35,467
Sig.		,093	,067	,166	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 59,246.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 43: Duncan - peso total**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 2: Análisis estadístico del peso fresco aéreo

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i=0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: PESO AEREO					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2513,453 <sup>a</sup>	11	228,496	4,385	,000
Intersección	27620,334	1	27620,334	530,061	,000
Salinidad	2513,453	11	228,496	4,385	,000
Error	3126,473	60	52,108		
Total	33260,260	72			
Total corregido	5639,926	71			

a. R al cuadrado = ,446 (R al cuadrado ajustada = ,344)

**Figura 44: Pruebas de efectos inter-sujetos del peso fresco aéreo**

FUENTE: Elaboración propia

PESO AEREO					
Duncan <sup>a,b</sup>					
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
15,00	6	8,600			
20,00	6	11,600	11,600		
12,00	6	15,867	15,867	15,867	
10,00	6		17,850	17,850	
5,70	6		18,883	18,883	
7,10	6		19,567	19,567	
3,50	6		20,317	20,317	
4,60	6		21,000	21,000	
8,50	6			22,200	
1,30	6			22,767	
2,20	6			23,217	
,75	6				33,167
Sig.		,104	,054	,142	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática(Error) = 52,108.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
b. Alfa = .05.

**Figura 45: Duncan - peso fresco aéreo**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 3: Análisis estadístico del peso fresco radicular

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: PESO RADICULAR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	37,751 <sup>a</sup>	11	3,432	5,431	,000
Intersección	246,309	1	246,309	389,809	,000
Salinidad	37,751	11	3,432	5,431	,000
Error	37,912	60	,632		
Total	321,972	72			
Total corregido	75,663	71			

a. R al cuadrado = ,499 (R al cuadrado ajustada = ,407)

**Figura 46: Pruebas de efecto inter – sujetos del peso fresco radicular**

FUENTE: Elaboración propia

PESO RADICULAR						
Duncan <sup>a,b</sup>						
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
15,00	6	,713				
20,00	6	1,100				
2,20	6	1,200				
12,00	6	1,450	1,450			
1,30	6	1,483	1,483	1,483		
3,50	6	1,517	1,517	1,517	1,517	
10,00	6	1,565	1,565	1,565	1,565	
,75	6		2,300	2,300	2,300	2,300
8,50	6			2,500	2,500	2,500
7,10	6				2,533	2,533
5,70	6					2,633
4,60	6					3,200
Sig.		,114	,104	,051	,051	,084

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,632.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 47: Duncan - peso fresco radicular**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 4: Análisis estadístico del peso seco total

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: PESO SECO TOTAL

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	33,888 <sup>a</sup>	11	3,081	3,403	,001
Intersección	432,670	1	432,670	477,986	,000
Salinidad	33,888	11	3,081	3,403	,001
Error	54,312	60	,905		
Total	520,870	72			
Total corregido	88,200	71			

a. R al cuadrado = ,384 (R al cuadrado ajustada = ,271)

**Figura 48: Pruebas de efecto inter – sujetos de peso seco total**

FUENTE: Elaboración propia

PESO SECO TOTAL					
Duncan <sup>a,b</sup>					
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
15,00	6	1,300			
20,00	6	1,650	1,650		
2,20	6	1,950	1,950		
3,50	6	2,033	2,033	2,033	
1,30	6	2,100	2,100	2,100	
12,00	6	2,200	2,200	2,200	
10,00	6		2,633	2,633	2,633
5,70	6		2,700	2,700	2,700
7,10	6		2,783	2,783	2,783
4,60	6		2,933	2,933	2,933
,75	6			3,300	3,300
8,50	6				3,833
Sig.		,158	,050	,051	,058

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática(Error) = ,905.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
b. Alfa = .05.

**Figura 49: Duncan - peso seco total**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 5: Análisis estadístico del peso seco aéreo

$H_0 : \mu_i = \mu$      $H_0 : \tau_i = 0$     Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$   
 $H_1 : \mu_i \neq \mu$      $H_1 : \tau_i \neq 0$     Para al menos algún  $i$   
 $\alpha = 0.05$

Variable dependiente: PESO SECO AEREO					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	23,108 <sup>a</sup>	11	2,101	2,806	,005
Intersección	312,917	1	312,917	417,919	,000
Salinidad	23,108	11	2,101	2,806	,005
Error	44,925	60	,749		
Total	380,950	72			
Total corregido	68,033	71			

a. R al cuadrado = ,340 (R al cuadrado ajustada = ,219)

**Figura 50: Pruebas de efecto inter – sujetos de peso seco aéreo**

FUENTE: Elaboración propia

PESO SECO AEREO					
Duncan <sup>a,b</sup>					
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
15,00	6	1,050			
20,00	6	1,400	1,400		
3,50	6	1,817	1,817	1,817	
2,20	6	1,817	1,817	1,817	
1,30	6	1,850	1,850	1,850	
12,00	6	1,917	1,917	1,917	
5,70	6	2,067	2,067	2,067	2,067
7,10	6		2,233	2,233	2,233
10,00	6		2,367	2,367	2,367
4,60	6		2,400	2,400	2,400
,75	6			2,950	2,950
8,50	6				3,150
Sig.		,083	,095	,057	,060

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,749.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 51: Duncan - peso seco aéreo**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 6: Análisis estadístico del peso seco radicular

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: PESO SECO RADICULAR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,162 <sup>a</sup>	11	,197	3,985	,000
Intersección	10,050	1	10,050	203,834	,000
Salinidad	2,162	11	,197	3,985	,000
Error	2,958	60	,049		
Total	15,170	72			
Total corregido	5,120	71			

a. R al cuadrado = ,422 (R al cuadrado ajustada = ,316)

**Figura 52: Pruebas de efecto inter – sujetos de peso seco radicular**

FUENTE: Elaboración propia

PESO SECO RADICULAR						
Duncan <sup>a,b</sup>						
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
2,20	6	,133				
3,50	6	,217				
1,30	6	,250	,250			
15,00	6	,250	,250			
20,00	6	,250	,250			
10,00	6	,267	,267	,267		
,75	6	,350	,350	,350	,350	
12,00	6	,367	,367	,367	,367	
4,60	6		,533	,533	,533	,533
7,10	6			,550	,550	,550
5,70	6				,633	,633
8,50	6					,683
Sig.		,126	,059	,051	,051	,294

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,049.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 53: Duncan - peso seco radicular**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 7: Análisis estadístico de la longitud total

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i = 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: LONGITUD TOTAL					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1407,670 <sup>a</sup>	11	127,970	2,272	,022
Intersección	136659,920	1	136659,920	2425,865	,000
Salinidad	1407,670	11	127,970	2,272	,022
Error	3380,070	60	56,335		
Total	141447,660	72			
Total corregido	4787,740	71			

a. R al cuadrado = ,294 (R al cuadrado ajustada = ,165)

**Figura 54: Pruebas de efecto inter – sujetos de la longitud total**

FUENTE: Elaboración propia

LONGITUD TOTAL				
Duncan <sup>a,b</sup>				
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
20,00	6	36,150		
15,00	6	36,500		
2,20	6	39,533	39,533	
12,00	6	41,500	41,500	41,500
10,00	6	42,500	42,500	42,500
5,70	6	43,667	43,667	43,667
8,50	6	44,517	44,517	44,517
1,30	6	44,917	44,917	44,917
7,10	6	45,733	45,733	45,733
3,50	6		47,850	47,850
4,60	6		49,583	49,583
,75	6			50,350
Sig.		,064	,052	,088

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 56,335.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 55: Duncan - longitud total**

FUENTE: Elaboración propia



### ANEXO 8: Análisis estadístico de la longitud aérea

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: LONGITUD AEREA					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	337,668 <sup>a</sup>	11	30,697	2,857	,004
Intersección	28636,233	1	28636,233	2665,123	,000
Salinidad	337,668	11	30,697	2,857	,004
Error	644,688	60	10,745		
Total	29618,590	72			
Total corregido	982,357	71			

a. R al cuadrado = ,344 (R al cuadrado ajustada = ,223)

**Figura 56: Pruebas de efecto inter – sujetos de la longitud aérea**

FUENTE: Elaboración propia

LONGITUD AEREA				
Duncan <sup>a,b</sup>				
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
20,00	6	15,667		
15,00	6	17,233	17,233	
2,20	6	18,783	18,783	18,783
12,00	6	19,300	19,300	19,300
10,00	6	19,533	19,533	19,533
5,70	6	19,600	19,600	19,600
4,60	6	19,883	19,883	19,883
8,50	6		20,083	20,083
7,10	6		20,167	20,167
1,30	6			22,783
3,50	6			23,117
,75	6			23,167
Sig.		,057	,193	,054

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 10,745.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 57: Duncan – longitud aérea**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 9: Análisis estadístico de la longitud radicular

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: LONGITUD RADICULAR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	631,527 <sup>a</sup>	11	57,412	3,628	,001
Intersección	71139,920	1	71139,920	4495,540	,000
Salinidad	631,527	11	57,412	3,628	,001
Error	949,473	60	15,825		
Total	72720,920	72			
Total corregido	1581,000	71			

a. R al cuadrado = ,399 (R al cuadrado ajustada = ,289)

**Figura 58: Pruebas de efecto inter – sujetos de la longitud radicular**

FUENTE: Elaboración propia

LONGITUD RADICULAR				
Duncan <sup>a,b</sup>				
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
2,20	6	24,633		
,75	6	28,933	28,933	
3,50	6	28,983	28,983	
1,30	6	29,317	29,317	
7,10	6		31,933	31,933
8,50	6		32,017	32,017
4,60	6		32,217	32,217
5,70	6		32,500	32,500
10,00	6		32,567	32,567
12,00	6		32,800	32,800
15,00	6			34,867
20,00	6			36,433
Sig.		,066	,161	,099

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 15,825.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 59: Duncan - longitud radicular**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 10: Análisis estadístico del contenido de humedad total

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para todo  $i=0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

Para al menos algún  $i$

$\alpha=0.05$

Variable dependiente: HUMEDAD TOTAL					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	944,449 <sup>a</sup>	11	85,859	,696	,737
Intersección	544221,796	1	544221,796	4412,795	,000
Salinidad	944,449	11	85,859	,696	,737
Error	7399,689	60	123,328		
Total	552565,933	72			
Total corregido	8344,138	71			

a. R al cuadrado = ,113 (R al cuadrado ajustada = -,049)

**Figura 60: Pruebas de efecto inter – sujetos del contenido de humedad total**

FUENTE: Elaboración propia

HUMEDAD TOTAL		
Duncan <sup>a,b</sup>		
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto
		1
2,20	6	76,630
8,50	6	84,622
15,00	6	85,820
10,00	6	86,963
20,00	6	87,110
7,10	6	87,122
5,70	6	87,543
4,60	6	87,580
12,00	6	87,772
,75	6	90,348
3,50	6	90,593
1,30	6	91,182
Sig.		,063

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 123,328.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 61: Duncan - contenido de humedad total**

FUENTE: Elaboración propia

**ANEXO 11: Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte aérea**

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0 \quad \text{Para todo } i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{Para al menos algún } i$$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: HUMEDAD AEREA					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3931,577 <sup>a</sup>	11	357,416	2,639	,008
Intersección	455217,014	1	455217,014	3361,028	,000
Salinidad	3931,577	11	357,416	2,639	,008
Error	8126,390	60	135,440		
Total	467274,981	72			
Total corregido	12057,967	71			

a. R al cuadrado = ,326 (R al cuadrado ajustada = ,203)

**Figura 62: Pruebas de efecto inter-sujetos de contenido de humedad de la parte aérea**

FUENTE: Elaboración propia

HUMEDAD AEREA				
Duncan <sup>a,b</sup>				
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
15,00	6	61,075		
20,00	6	70,992	70,992	
2,20	6	73,072	73,072	
12,00	6		79,207	79,207
5,70	6		80,263	80,263
10,00	6		81,145	81,145
3,50	6		82,650	82,650
7,10	6		82,677	82,677
4,60	6		83,055	83,055
1,30	6		85,277	85,277
8,50	6		85,308	85,308
,75	6			89,447
Sig.		,096	,077	,205

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 135,440.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 63: Duncan – contenido de humedad de la parte aérea**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 12: Análisis estadístico del contenido de humedad de la parte radicular

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0 \quad \text{Para todo } i = 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{Para al menos algún } i$$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: HUMEDAD RADICULAR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2539,930 <sup>a</sup>	11	230,903	1,020	,440
Intersección	435211,846	1	435211,846	1923,388	,000
Salinidad	2539,930	11	230,903	1,020	,440
Error	13576,410	60	226,274		
Total	451328,186	72			
Total corregido	16116,341	71			

a. R al cuadrado = ,158 (R al cuadrado ajustada = ,003)

**Figura 64: Pruebas de efecto inter – sujetos del contenido de humedad radicular**

FUENTE: Elaboración propia

HUMEDAD RADICULAR			
Duncan <sup>a,b</sup>			
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto	
		1	2
15,00	6	65,232	
5,70	6	72,490	72,490
2,20	6	72,617	72,617
8,50	6	73,320	73,320
12,00	6	76,213	76,213
7,10	6	76,512	76,512
20,00	6	78,008	78,008
4,60	6	81,993	81,993
10,00	6	82,318	82,318
1,30	6	84,010	84,010
,75	6	84,092	84,092
3,50	6		86,160
Sig.		,073	,196

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 226,274.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 65: Duncan - contenido de humedad de la parte radicular**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 13: Análisis estadístico de la concentración de potasio

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0 \quad \text{Para todo } i=0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{Para al menos algún } i$$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: CONCENTRACION DE K					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	39,723 <sup>a</sup>	11	3,611	1,714	,130
Intersección	1024,640	1	1024,640	486,385	,000
Salinidad	39,723	11	3,611	1,714	,130
Error	50,559	24	2,107		
Total	1114,923	36			
Total corregido	90,283	35			

a. R al cuadrado = ,440 (R al cuadrado ajustada = ,183)

**Figura 66: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de potasio**

FUENTE: Elaboración propia

CONCENTRACION DE K			
Duncan <sup>a,b</sup>			
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto	
		1	2
15,00	3	3,773	
4,60	3	4,253	4,253
20,00	3	4,443	4,443
,75	3	4,623	4,623
8,50	3	4,790	4,790
7,10	3	4,963	4,963
10,00	3	5,147	5,147
5,70	3	5,187	5,187
12,00	3	6,323	6,323
1,30	3	6,613	6,613
2,20	3		6,950
3,50	3		6,953
Sig.		,050	,063

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 2,107.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 67: Duncan - concentración de potasio**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 14: Análisis estadístico de la concentración de calcio

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para todo  $i = 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

Para al menos algún  $i$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: CONCENTRACION DE Ca					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,641 <sup>a</sup>	11	,058	1,384	,243
Intersección	156,917	1	156,917	3725,287	,000
Salinidad	,641	11	,058	1,384	,243
Error	1,011	24	,042		
Total	158,570	36			
Total corregido	1,652	35			

a. R al cuadrado = ,388 (R al cuadrado ajustada = ,108)

**Figura 68: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de calcio**

FUENTE: Elaboración propia

CONCENTRACION DE Ca			
Duncan <sup>a,b</sup>			
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto	
		1	2
20,00	3	1,857	
8,50	3	1,973	1,973
10,00	3	1,977	1,977
12,00	3	1,980	1,980
7,10	3	2,007	2,007
15,00	3	2,053	2,053
5,70	3	2,060	2,060
3,50	3	2,157	2,157
1,30	3	2,193	2,193
4,60	3	2,230	2,230
,75	3	2,250	2,250
2,20	3		2,317
Sig.		,056	,092

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,042.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 69: Duncan - concentración de calcio**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 15: Análisis estadístico de la concentración de magnesio

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: CONCENTRACION DE Mg					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,228 <sup>a</sup>	11	,021	2,338	,040
Intersección	33,312	1	33,312	3764,083	,000
Salinidad	,228	11	,021	2,338	,040
Error	,212	24	,009		
Total	33,752	36			
Total corregido	,440	35			

a. R al cuadrado = ,517 (R al cuadrado ajustada = ,296)

**Figura 70: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de magnesio**

FUENTE: Elaboración propia

CONCENTRACION DE Mg				
Duncan <sup>a,b</sup>				
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
15,00	3	,843		
20,00	3	,843		
4,60	3	,893	,893	
12,00	3	,900	,900	
7,10	3	,927	,927	
5,70	3	,967	,967	,967
8,50	3	,973	,973	,973
10,00	3	1,007	1,007	1,007
,75	3	1,020	1,020	1,020
3,50	3	1,020	1,020	1,020
1,30	3		1,033	1,033
2,20	3			1,117
Sig.		,059	,129	,100

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,009.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 71: Duncan - concentración de magnesio**

FUENTE: Elaboración propia



**ANEXO 16: Análisis estadístico de la concentración de sodio**

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0 \quad \text{Para todo } i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{Para al menos algún } i$$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: CONCENTRACION DE Na					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10,367 <sup>a</sup>	11	,942	35,343	,000
Intersección	158,928	1	158,928	5959,802	,000
Salinidad	10,367	11	,942	35,343	,000
Error	,640	24	,027		
Total	169,935	36			
Total corregido	11,007	35			

a. R al cuadrado = ,942 (R al cuadrado ajustada = ,915)

**Figura 72: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de sodio**

FUENTE: Elaboración propia

CONCENTRACION DE Na							
Duncan <sup>a,b</sup>							
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
,75	3	1,350					
1,30	3	1,510	1,510				
4,60	3		1,653	1,653			
5,70	3			1,803			
3,50	3			1,827			
7,10	3			1,853			
2,20	3			1,863			
10,00	3				2,377		
8,50	3				2,390		
15,00	3				2,577		
12,00	3					2,863	
20,00	3						3,147
Sig.		,242	,293	,171	,169	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,027.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 73: Duncan - concentración de sodio**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 17: Análisis estadístico de la concentración de sulfatos

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha= 0.05$

Variable dependiente: CONCENTRACION DE S					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,089 <sup>a</sup>	11	,008	3,433	,006
Intersección	5,601	1	5,601	2377,830	,000
Salinidad	,089	11	,008	3,433	,006
Error	,057	24	,002		
Total	5,747	36			
Total corregido	,145	35			

a. R al cuadrado = ,611 (R al cuadrado ajustada = ,433)

**Figura 74: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de sulfatos**

FUENTE: Elaboración propia

CONCENTRACION DE S				
Duncan <sup>a,b</sup>				
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto		
		1	2	3
7,10	3	,330		
15,00	3	,340		
5,70	3	,343		
20,00	3	,350		
10,00	3	,377	,377	
,75	3	,383	,383	
8,50	3	,390	,390	,390
12,00	3	,403	,403	,403
4,60	3	,410	,410	,410
1,30	3		,450	,450
2,20	3			,477
3,50	3			,480
Sig.		,094	,114	,054

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,002.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 75: Duncan - concentración de sulfatos**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 18: Análisis estadístico de la concentración de cloruros

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0 \quad \text{Para todo } i= 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{Para al menos algún } i$$

$\alpha = 0.05$

<b>Pruebas de efectos inter-sujetos</b>					
Variable dependiente: CONCENTRACION DE Cl					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,640 <sup>a</sup>	11	,331	29,506	,000
Intersección	38,066	1	38,066	3394,371	,000
Salinidad	3,640	11	,331	29,506	,000
Error	,269	24	,011		
Total	41,975	36			
Total corregido	3,909	35			

a. R al cuadrado = ,931 (R al cuadrado ajustada = ,900)

**Figura 76: Pruebas de efecto inter – sujetos de concentración de cloruros**

FUENTE: Elaboración propia

<b>CONCENTRACION DE Cl</b>							
Duncan <sup>a,b</sup>							
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
,75	3	,603					
1,30	3	,692	,692				
4,60	3	,748	,748	,748			
2,20	3		,821	,821			
3,50	3		,850	,850			
5,70	3		,879	,879			
7,10	3			,930			
10,00	3				1,210		
8,50	3				1,213		
15,00	3				1,257		
12,00	3					1,443	
20,00	3						1,693
Sig.		,127	,062	,069	,616	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,011.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 77: Duncan - concentración de cloruros**

FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 19: Análisis estadístico de la relación Na/Ca

$$H_0 : \mu_i = \mu \quad H_0 : \tau_i = 0$$

Para todo  $i = 0,75; 1,3; 2,2; \dots; 20$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu \quad H_1 : \tau_i \neq 0$$

Para al menos algún  $i$

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: CONCENTRACION DE NaCa					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,639 <sup>a</sup>	11	,331	27,701	,000
Intersección	38,128	1	38,128	3192,587	,000
Salinidad	3,639	11	,331	27,701	,000
Error	,287	24	,012		
Total	42,054	36			
Total corregido	3,926	35			

a. R al cuadrado = ,927 (R al cuadrado ajustada = ,894)

**Figura 78: Pruebas de efecto inter – sujetos de relación Na/Ca**

FUENTE: Elaboración propia

CONCENTRACION DE NaCa							
Duncan <sup>a,b</sup>							
NIVEL DE SALINIDAD	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
,75	3	,603					
1,30	3	,692	,692				
4,60	3	,748	,748	,748			
2,20	3		,821	,821			
3,50	3		,850	,850			
5,70	3		,879	,879			
7,10	3			,940			
10,00	3				1,207		
8,50	3				1,213		
15,00	3				1,257		
12,00	3					1,447	
20,00	3						1,693
Sig.		,139	,070	,063	,603	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,012.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.  
 b. Alfa = .05.

**Figura 79: Duncan - relación Na/Ca**

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 20: Tolerancia a la salinidad de cultivos en relación con su rendimiento

Especie y Tolerancia	Parámetro a CE umbral dS.m <sup>-1</sup> 25°C	Parámetro b % disminución del rendimiento por unidad de CE	Disminución del rendimiento (%)							
			0		10		25		50	
			CE <sub>e</sub>	CE <sub>ar</sub>	CE <sub>e</sub>	CE <sub>ar</sub>	CE <sub>e</sub>	CE <sub>ar</sub>	CE <sub>e</sub>	CE <sub>ar</sub>
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

## ANEXO 20: Continuación

Fresa	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