

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA



**“SALINIDAD DE AGUA DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN NITRO-
FOSFATADA EMPLEANDO AJÍ JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)
COMO CULTIVO INDICADOR EN INVERNADERO”**

Presentada por:

GIORGIO AGUSTÍN CRUZ FAJARDO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO

LIMA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**“SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO DE FRESA DE LOS
AGRICULTORES DEL DISTRITO DE HUAURA”**

**Tesis para optar el Título de:
INGENIERO AGRONOMO**

GIORGIO AGUSTÍN CRUZ FAJARDO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. M. S. Andrés Casas Díaz
PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Ruby Vega Ravello
ASESORA

Ing. M. Sc. Karín Coronado Matutti
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez
MIEMBRO

Lima – Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios quien siempre me acompaña a lo largo de este rudo camino llamado vida.
A mi mamá Rossana Fajardo a quien debo demasiado y creo que ni con el mayor de los
méritos lograré compensarlo.
A mi papá Fernando Cruz quien siempre me ha apoyado y enseñado, quien de alguna
manera me influyó a seguir esta carrera.
A todos los que pasan por distintas dificultades en la vida, especialmente en el camino de
la tesis.

Mc 4,35-41.

AGRADECIMIENTOS

A Dios a quien le debo todo.

A mis padres quienes me brindaron su apoyo y comprensión durante este proceso.

A mi hermano Kevin Cruz, por su ayuda constante.

A la Ing. Mg Sc. Ruby Vega, por toda la paciencia que me ha tenido, por sus consejos, por su confianza en mí y por ser una excelente persona.

Al Ing. Mg Sc. Andrés Casas por su valiosa ayuda durante este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado Ing. Mg Sc. Braulio La Torre e Ing. Mg Sc. Karín Coronado por valiosos aportes.

Al Dr. Sady García por ayudarme a concluir este trabajo y por su apoyo constante.

A Pablo Gutierrez, por su paciencia y sus cruciales aportes a este trabajo.

A Fernando Chung y Carlos Mestanza por su ayuda desinteresada.

A Jonathan “Ermitaño” Vásquez por enseñarme muchas cosas de la maravillosa carrera de la agronomía y por ser un buen amigo.

A Juan Carlos Peña por apoyarme con sus conocimientos de química en el presente trabajo y por sus buenos consejos.

A Claudia Ramos por ayudarme a concretar ideas en esta investigación.

A Ricardo Rebolleda, Alberto Yaipén e Ignacio Reinales, por sus oraciones y sus enseñanzas que son muy valiosas.

A todos los que me ayudaron de alguna u otra manera, esto no habría sido posible sin ustedes.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 SALES EN EL SUELO	3
2.1.1 Origen de los suelos salinos.....	4
2.2 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO Y SU IMPORTANCIA	4
2.2.1 Salinidad en el agua de riego	5
2.2.2 Tasa de infiltración de agua.....	6
2.2.3 Toxicidad	7
2.2.4 Misceláneos	9
2.3 MECANISMOS DE LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE LAS PLANTAS	10
2.3.1 Exclusión de sales	11
2.3.2 Inclusión de sales	11
2.4 FERTILIZACIÓN NITRO-FOSFATADA Y ESTRÉS SALINO.....	12
2.4.1 El nitrógeno y el estrés salino	13
2.4.2 El fósforo y el estrés salino.....	13
2.4.3 Fuentes de nitrógeno y fósforo	14
2.5 EL CULTIVO INDICADOR	15
2.5.1 Origen y distribución del ají Jalapeño.....	15
2.5.2 Clasificación taxonómica	16
2.5.3 Descripción botánica	17
2.5.4 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo	18
2.5.5 Efecto de la salinidad en los Capsicum.....	19
2.5.6 Fertilización en los Capsicum.....	19
2.5.7 Relevancia en la alimentación humana	20
2.5.8 Potencial exportador e importancia económica.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 MATERIALES.....	21
3.1.1 Ubicación	21
3.1.2 Características climatológicas	21
3.1.3 Características del sustrato.....	22

3.1.4 Características del agua de riego	24
3.1.5 Cultivo indicador	26
3.1.6 Fertilizantes empleados.....	26
3.2 MÉTODOS	26
3.2.1 Diseño experimental	26
3.2.2 Desarrollo del experimento.....	27
3.2.3 Parámetros en evaluación.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 PESO SECO DEL FOLLAJE	34
4.2 PESO SECO RADICULAR.....	36
4.3 PESO SECO DE LOS FRUTOS	39
4.4 PESO SECO TOTAL DE PLANTA	41
4.5 EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO.....	44
4.6 EXTRACCIÓN DE FÓSFORO	46
4.7 EXTRACCIÓN DE POTASIO.....	48
4.8 EXTRACCIÓN DE CLORO	50
4.9 EXTRACCIÓN DE SODIO.....	53
4.10 EN EL SUSTRATO EXPERIMENTAL	55
4.10.1 Conductividad eléctrica final (1:1).....	55
4.10.2 pH final.....	57
V. CONCLUSIONES	60
VI. RECOMENDACIONES.....	61
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
VIII. ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Indicadores para evaluar los problemas de salinidad en el suelo causados por el contenido de sales y sólidos solubles en el agua de riego.....	5
Cuadro 2: Indicadores para evaluar los problemas de infiltración en el suelo causados por el contenido de sodio en relación a la salinidad del suelo.	7
Cuadro 3: Grado de restricción de uso del agua de riego por toxicidad de iones específicos.	9
Cuadro 4: Grado de restricción del uso del agua de riego por problemas misceláneos.	10
Cuadro 5: Datos meteorológicos obtenidos durante el desarrollo de la fase experimental.....	22
Cuadro 6: Caracterización físico química del sustrato experimental.	23
Cuadro 7: Análisis de humedad equivalente, capacidad de campo y punto de marchitez del sustrato experimental.....	24
Cuadro 8: Caracterización de las aguas de riego.	25
Cuadro 9: Descripción de los niveles de salinidad empleados y de las dosis de fertilización empeladas.....	28
Cuadro 10: Fertilización y cantidades empleadas por unidad experimental y mg.kg^{-1}	29
Cuadro 11: Dosis y distribución de las aplicaciones de nitrógeno en el ají jalapeño. .	30
Cuadro 12: Efecto los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en el peso seco del follaje del ají Jalapeño.	35
Cuadro 13: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro- fosfatada en el peso seco de raíz del ají Jalapeño.....	37
Cuadro 14: Efecto los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en el peso seco de fruto del ají Jalapeño.	40
Cuadro 15: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro- fosfatada en el peso seco total del ají Jalapeño.	42
Cuadro 16: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de nitrógeno en el ají Jalapeño.....	45

Cuadro 17: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de fósforo en el ají Jalapeño.	47
Cuadro 18: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de potasio en el ají Jalapeño.	49
Cuadro 19: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de cloro en el ají Jalapeño.	52
Cuadro 20: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de sodio en el ají Jalapeño.	54
Cuadro 21: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y la fertilización nitro-fosfatada en la conductividad eléctrica final del sustrato.	56
Cuadro 22: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y la fertilización nitro-fosfatada en el pH final del sustrato.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco del follaje del ají Jalapeño.....	36
Figura 2: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco del follaje del ají Jalapeño.....	36
Figura 3: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco de raíz del ají Jalapeño.	38
Figura 4: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco de raíz del ají Jalapeño.....	38
Figura 5: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco de fruto del ají Jalapeño.....	41
Figura 6: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco de fruto del ají Jalapeño.....	41
Figura 7: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco total del ají Jalapeño.	43
Figura 8: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco total del ají Jalapeño.....	43
Figura 9 : Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de nitrógeno del ají Jalapeño.....	45
Figura 10: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de nitrógeno del ají Jalapeño.	46
Figura 11: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de fósforo del ají Jalapeño.	47
Figura 12: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de fósforo del ají Jalapeño.	48
Figura 13: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de potasio del ají Jalapeño.....	50

Figura 14: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de potasio del ají Jalapeño.	50
Figura 15: Efecto de los niveles la salinidad del agua de riego en la extracción de cloro del ají Jalapeño.	52
Figura 16: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de cloro del ají Jalapeño.....	53
Figura 17: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de sodio del ají Jalapeño.	55
Figura 18: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de sodio del ají Jalapeño.	55
Figura 19: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la conductividad eléctrica final (1:1) del sustrato.	57
Figura 20: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada en la conductividad eléctrica final (1:1) del sustrato.	57
Figura 21: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en el pH final (1:1) del sustrato.	59
Figura 22: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada en el pH final (1:1) del sustrato.	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza para el peso seco del follaje de la planta de ají Jalapeño.....	70
Anexo 2: Análisis de varianza para el peso seco de fruto de ají Jalapeño.	70
Anexo 3: Análisis de varianza para el peso seco radicular de la planta de ají Jalapeño.	70
Anexo 4: Análisis de varianza para peso seco total de planta de ají Jalapeño.	71
Anexo 5: Análisis de varianza para concentración de nitrógeno foliar de la planta de ají Jalapeño.	71
Anexo 6: Análisis de varianza para concentración de fósforo foliar de la planta de ají Jalapeño.....	71
Anexo 7: Análisis de varianza para la concentración de potasio foliar de la planta de ají Jalapeño.	72
Anexo 8: Análisis de varianza para la concentración de cloruro foliar de la planta de ají Jalapeño.	72
Anexo 9: Análisis de varianza para concentración de sodio foliar de la planta de ají Jaapeño.....	72
Anexo 10: Análisis de varianza para conductividad eléctrica final del sustrato.	73
Anexo 11: Análisis de varianza para pH final del sustrato.	73
Anexo 12: Promedios de alturas durante el desarrollo del experimento de ají Jalapeño.....	74
Anexo 13: Desarrollo de biomasa seca de planta y concentración de nutrientes en <i>capsicum annum</i> cv UCR 589	75
Anexo 14: Desarrollo de peso seco de planta y concentración de nutrientes en <i>capsicum annum</i> cv HOT	76

RESUMEN

El incremento de las sales en el suelo es un problema que afecta la producción de los cultivos y reduce considerablemente la cantidad de tierras aptas para la agricultura; siendo las causas principales de este incremento el uso de agua salina para el riego y la fertilización excesiva. Es por ello, que se establece el estudio en macetería con un sustrato de arena, similar al suelo de muchas de las irrigaciones de las zonas costeras del Perú (97 % de arena, 8.15 de pH y 0.52 dS.m⁻¹ de CE) para determinar el efecto de tres calidades de agua (1.0, 2.3 y 3.4 dSm⁻¹) y tres dosis de fertilización (300-300-0, 150-150-0 y 0-0-0 mg.kg⁻¹) en ají jalapeño (*Capsicum annum* L.). Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente aleatorizado con dos factores (calidad de agua y dosis de fertilización) y cuatro repeticiones. En la investigación, el tratamiento regado con mayor nivel de sales sólo produjo biomasa vegetativa durante los cinco primeros meses y los tratamientos regados con aguas de menor conductividad eléctrica, hasta el final del experimento (07 meses). La mayor biomasa total se obtuvo en los tratamientos regados con agua de 1.0 dS.m⁻¹, aunque su respuesta fue estadísticamente similar al agua con 2.3 dS m⁻¹. La dosis de fertilización de 300-300-0 favoreció el desarrollo de biomasa foliar; pero, perjudicó la formación de frutos y se encontró que la dosis de fertilización de 150-150-0 fue la mejor. Las biomásas totales más bajas se obtuvieron en los tratamientos regados con agua de 3.4 dS.m⁻¹ y en los que no se fertilizaron. El mayor rendimiento lo obtuvo el tratamiento regado con agua de 1.0 dS.m⁻¹ y fertilizado con las dosis 150-150-0. Además, los tratamientos regados con agua de 1.0 y 2.3 dS.m⁻¹ obtuvieron la mayor extracción de N, P y K; mientras que los regados con agua de 3.4 dS.m⁻¹ concentraron más cloro y sodio en sus tejidos.

Palabras clave: *Capsicum annum* L., jalepeño, salinidad, fertilización, calidad de agua.

ABSTRACT

Soil salinity increase is a problem affecting crop yields and reducing the extension of suitable farming land. The main causes of this increase are the use of saline water for irrigation and excessive fertilization. For that reason, a pot experiment was set up using sandy soil material whose features were similar to those in irrigation projects at the coast of Peru (97 % of sand, pH 8.15 and 0.52 dS.m⁻¹) to assess the effect of three types of water (1.0, 2.3 y 3.4 dSm⁻¹) and three fertilization levels (300-300-0, 150-150-0 and 0-0-0 mg. .kg⁻¹) in jalapeño pepper (*Capsicum annum* L.). Treatments with four replicates each, were distributed according to a completely randomized design in factorial arrangement with two factors (water quality and fertilization level). Results showed that the treatment watered with the highest salinity level grew in biomass only for the first five months whereas treatments watered with the two less salty water types did it until the seventh month. The biggest amount of total biomass was obtained in the pots treated with water of 1.0 dS.m and they did not show statistical significance in comparison with pots treated with 2.03 dS/m water. The fertilizer dose of 300-300-0 favored foliage growth, nonetheless it was detrimental for fruit formation and root development. The dose of 150-150-0 achieved the highest performance for fruit production. The lowest biomass growth was obtained with the 3.4 dS/m water and without any fertilizer. Treatment with 1.0 ds/m water and 150-150-0 got the highest yield. Besides, pots treated with 1.0 and 2.3 dS/m water showed the biggest extraction of N, P and K; whereas those treated with 3.4 dS/m increased concentration of Cl and Na within their tissues.

Key words: *Capsicum annun* L., jalapeño, salinity, fertilization, water quality

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos salinos se caracterizan por tener altos niveles de sales en el perfil del suelo, donde los iones están presentes en cantidades que pueden afectar negativamente al crecimiento del cultivo. El incremento de las sales en el suelo es un problema que afecta la producción de los cultivos y reduce la cantidad de tierras aptas para la agricultura. Alrededor de un tercio del área irrigada del mundo con fines agrícolas tiene problemas por salinidad; asimismo, la tendencia es el incremento de la extensión de áreas salinas en 10 % anual (Brady y Weil, 2008). En la actualidad, aproximadamente de 20 a 30 millones de hectáreas se encuentran seriamente afectadas por sales y se estima que en producción agrícola se pierde de 250 a 500 mil hectáreas como resultado del incremento de la salinidad del suelo (FAO, 2001). La población mundial va en aumento, según las Naciones Unidas (2017) se proyecta alcanzar los 8500 millones de habitantes al 2030; por otro lado, el crecimiento de la superficie cultivable es limitado. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2001), el área cultivada es de 1500 millones de hectáreas, lo que representa el 11 % de la superficie del mundo. Esta realidad nos obliga a cultivar sobre zonas con limitaciones para la producción agrícola como en los suelos salinos y hacer frente a la escasez de agua de calidad para satisfacer las demandas hídricas requeridas por los cultivos.

La costa peruana, región donde se desarrolla agricultura intensiva, tiene una extensión de algo más de un millón de hectáreas con aptitud para riego; de las cuales 750 000 ha están cultivadas y cerca de 300 000 ha están afectadas por salinidad y mal drenaje (INADE, 2010) Gran parte de la franja costera es un desierto; por lo tanto, las fuentes de agua son limitadas y se usa frecuentemente agua salina, considerada de mala calidad agrícola porque afecta el normal desarrollo y la producción de cultivos sensibles a sales (Alva et al., 1976). Las necesidades alimenticias han variado y hoy se requieren más verduras por su interesante aporte nutricional, siendo los capsicum excelente alternativa por ser fuente de antioxidantes como la capsanthina y la vitamina C (Bosland y Votava, 2012).

Según el MINAGRI (2017) la información obtenida del cultivo de ají en la campaña agrícola 2016-2017 se cultivaron 4 344 ha de ajíes (exceptuando rocoto, piquillo, pimientos y páprika) con una producción nacional de 41 658 toneladas.

La correcta nutrición de los cultivos es necesaria para alcanzar niveles adecuados de producción, convirtiéndose la fertilización en una práctica fundamental para el manejo de los cultivos. Una planta bien nutrida tiene la capacidad de lidiar con diferentes tipos de estrés, tanto bióticos (daños de plagas y enfermedades) como abióticos (estrés hídrico, salino, etc.).

Según autores como Mengel y Kirkby (2001), una balanceada fertilización y el aporte del requerimiento hídrico adecuado mitigan el efecto perjudicial de las sales.

La producción de muchos cultivos enfrenta la escasez de agua y en muchos casos sólo se dispone de agua salina para el riego y la fertilización. Existen diversos estudios sobre la interacción de la salinidad y nutrición mineral; no obstante, existen pocos registros de experimentos donde la fuente de salinización del sustrato es un agua salina en condiciones reales. Por ello, ante la reducción de la productividad que genera el regar con agua salina sumado al aporte de sales a través de los fertilizantes, se propuso los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de niveles de salinidad del agua de riego y fertilización nitro-fosfatada en la productividad del ají jalapeño como cultivo indicador bajo condiciones de invernadero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de los niveles de salinidad de agua de riego sobre la planta de ají jalapeño.
- Evaluar el efecto de las dosis de fertilización nitro-fosfatada en el cultivo indicador.
- Determinar el efecto de la interacción de los niveles de salinidad de agua de riego y la fertilización nitro-fosfatada en el cultivo de ají jalapeño.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SALES EN EL SUELO

Alrededor de un tercio del área irrigada del mundo tiene problemas de sales. La salinización del suelo es un problema creciente que enfrenta la producción de cultivos en todo el mundo; predominantemente provocado por la irrigación en zonas áridas y semiáridas. Los suelos salinos se caracterizan por tener altos niveles de sales en el perfil del suelo y contiene iones como Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , PO_4^{3-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} y borato en cantidades que pueden afectar al crecimiento del cultivo (Mengel y Kirkby, 2001).

Los suelos afectados por sales están ampliamente distribuidos por el mundo y las áreas más extensas se encuentran en Australia, África, Latinoamérica, Cercano y Medio Oriente. Asimismo, cerca de 50 millones de hectáreas de tierras cultivadas y de pasturas son frecuentemente afectadas por salinidad y en algunas regiones el área muy afectada por sales crece a una tasa de 10 % anual. (Brady y Weil, 2008).

De acuerdo con Marschner (2012) y Taiz y Zeiger (2006), cuando hay un exceso de minerales en el suelo, se dice que este es salino y que el crecimiento vegetal puede verse reducido si los iones alcanzan niveles que limitan la disponibilidad de agua o exceden la zona óptima para un nutriente determinado, siendo las sales más comunes el cloruro y sulfato sódico. Este exceso de minerales llega a ser un problema mayor en las regiones áridas o semiáridas, debido a que las precipitaciones son insuficientes para lixiviar los iones de las capas superiores del suelo. En el caso de las irrigaciones, se promueve al incremento de sales en el suelo si no se aplica láminas de riego que consideren la lixiviación de las mismas por debajo de la zona radical.

2.1.1 Origen de los suelos salinos

La salinización es el proceso por el cual se produce la acumulación de sales en el suelo de forma progresiva, lo que provoca una concentración elevada de estas en la fase líquida del mismo (Porta et al., 2011).

Este mismo autor define dos tipos de salinización según su origen:

a. Salinización como proceso natural

Ocurre sin intervención del hombre, donde se produce la acumulación de sales derivada de la meteorización de rocas y minerales (ciclo de salinización primaria); no obstante, lo más frecuente es la movilización de los cationes y aniones liberados en el paisaje, donde las sales transportadas por el agua se acumulan en áreas con drenaje deficiente en ambientes de clima árido y semiárido (ciclo de salinización secundaria).

b. Salinización como proceso antrópico

El agua de buena calidad contiene entre 100 y 1000 g de sales por metro cúbico; considerando que un cultivo requiere en promedio 10000 metros cúbicos de agua por hectárea, esta fuente hídrica puede añadir entre 1 a 10 toneladas de minerales al suelo (Marschner, 2012), sin incluir el aporte de sales por fuentes inorgánicas como los fertilizantes. Si no se toman las medidas adecuadas como un drenaje artificial asociado al sistema de riego, la acumulación de sales puede tener lugar en la zona de enraizamiento; por ello, es necesario aplicar un volumen de agua adicional para lavado de sales y este exceso eliminarlo por medio de un sistema de drenaje.

2.2 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO Y SU IMPORTANCIA

El concepto de calidad de agua se refiere a la idoneidad del agua para un propósito en particular, siendo las variables físicas, químicas y biológicas las que determinarán la calidad del agua para un uso específico. En agricultura es importante que el agua no tenga excesiva concentración de minerales, pues causa efectos osmóticos adversos en las plantas; además, un agua apta no debe poseer sustancias fitotóxicas (Boyd, 2015).

Según Ayers y Westcot (1985), un agua de riego será calificada como mejor si con ella se obtiene los mayores resultados frente a otras, ya sea en rendimiento, calidad de la cosecha y/o sostenibilidad del suelo. Cabe mencionar que el agua utilizada para el riego puede variar

mucho en calidad dependiendo del tipo y la cantidad de sales disueltas. En el caso de riego superficial, las sales se aplican con el agua; debido a ello, la calidad del agua para uso agrícola se juzga según la posible gravedad de los problemas que se puedan generar durante su uso.

Estos mismos autores establecen cuatro parámetros para calificar la calidad del agua de riego: salinidad, tasa de infiltración, toxicidad de iones específicos y problemas misceláneos.

2.2.1 Salinidad en el agua de riego

La salinidad es una característica que refiere a la concentración total de los iones contenidos en el agua (Boyd, 2015), considerándose su incremento como un grave problema que enfrenta la agricultura alrededor del mundo. Para autores como Marschner (2012), el uso de aguas de riego de pobre calidad es una causa del aumento de la salinización de tierras agrícolas; por ello, el exceso de sales tiene que ser eliminado periódicamente por lixiviación o drenaje para disminuir su concentración cerca de las raíces y no perjudicar el rendimiento.

El parámetro utilizado para cuantificar la salinidad en el agua es la conductividad eléctrica (CE), el cual es un método de medición indirecto pero muy útil porque existe relación directa entre la concentración de iones en el agua aumenta y su conductancia. En el Sistema internacional (SI) de unidades, su unidad es el milisiemen por centímetro (Boyd, 2015).

Para Ayers y Westcott (1985), los niveles de salinidad generan diferentes grados de restricción en el uso del agua (Cuadro 1).

Cuadro 1: Indicadores para evaluar los problemas de salinidad en el suelo causados por el contenido de sales y sólidos solubles en el agua de riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera-moderada	Alta
Salinidad				
C.E	dS.m ⁻¹	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
Total de sólidos solubles	mg.kg ⁻¹	< 450	450-2000	> 2000

Fuente: Ayers y Westcott, 1985

Según Flowers et al. (1977), los efectos de la salinidad sobre las plantas dependen tanto de la tolerancia de la especie o variedad considerada (glicófitas y halófitas); así como, del estadio de desarrollo de la misma. La respuesta del cultivo es gradual a medida que la

concentración de sales aumenta (efecto osmótico) y depende de la presencia de elementos que pueden resultar tóxicos (efecto ion específico). Se ha establecido valores de CE con umbrales orientativos para los diferentes cultivos, a partir de los cuales el rendimiento disminuye en un 10 %, 25 % ó 50 %; de esta forma, la disminución del rendimiento en 50 % se considera como el límite por encima del cual la rentabilidad económica del cultivo no resulta satisfactoria (Porta et al., 2011).

Como el efecto directo de las sales sobre las plantas es reducir la disponibilidad de agua para realizar sus diversas funciones metabólicas, Taiz y Zeiger (2006) determinan que la planta responde a nivel fisiológico de diferentes formas al estrés osmótico:

a. Reducción de la fotosíntesis y crecimiento de las plantas

Las plantas pueden dividirse en dos grandes grupos según su respuesta a la concentración de sales, las halófilas que son nativas de suelos salinos y puede completar su ciclo vital en ese entorno y por otro lado las glicófitas, que no son capaces de resistir el mismo nivel de sales que las halófitas. Normalmente, existe un nivel crítico de concentración de sales, a partir del cual las glicófitas comienzan a presentar síntomas de inhibición de crecimiento, decoloración de hojas y pérdidas de peso seco; la mayoría de plantas cultivadas son glicófitas.

b. Efectos osmóticos y efectos específicos de iones

Los solutos disueltos en la zona radicular reducen el potencial osmótico y a su vez el potencial hídrico del agua; por ello, el equilibrio hídrico total de la planta se ve afectado debido a que las hojas necesitan desarrollar un potencial hídrico más negativo para mantener un gradiente positivo entre suelo y hojas. Este efecto de los solutos disueltos es similar al que causa el déficit hídrico en el suelo. La mayoría de plantas reaccionan a los niveles excesivos de salinidad en el suelo del mismo modo a como lo hacen frente al déficit hídrico.

2.2.2 Tasa de infiltración de agua

la infiltración es un proceso que depende de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, como el contenido de humedad, la cantidad de agua que ha recibido en el pasado, los cambios estructurales en las capas del suelo y de cuanto aire se encuentra atrapado en el suelo (walker, 1989). se produce un problema de infiltración si el agua no ingresa al suelo lo suficientemente rápido durante un ciclo de riego normal para reponer el agua que necesita

un cultivo antes de la próxima irrigación, de esta manera la tasa de infiltración reducida es generalmente un problema dentro de los pocos centímetros superiores del suelo y ocasionalmente puede ocurrir a profundidades mayores, como resultado final se obtiene la disminución en el suministro de agua del cultivo, pues se reduce la cantidad de agua introducida en el suelo para su uso por las plantas (cuadro 2) (ayers y westcott, 1985).

Cuadro 2: Indicadores para evaluar los problemas de infiltración en el suelo causados por el contenido de sodio en relación a la salinidad del suelo.

Problema potencial Infiltración (evaluarlo usando CEa y RAS)	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera a Moderada	Alta
RAS	0-3.0	> 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3.0-6.0	> 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6.0-12.0	> 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12.0-20.0	> 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20.0-24.0	> 5.0	5.0-2.9	< 2.9

Fuente: Ayers y Westcott, 1985

2.2.3 Toxicidad

Los problemas de toxicidad ocurren si los iones en el suelo o el agua son absorbidos por la planta y se acumulan a concentraciones suficientemente altas para causar daño a los cultivos y reducir sus rendimientos. El grado de daño depende de la cantidad de los iones absorbidos y la sensibilidad del cultivo e estos. Los principales elementos presentes en el agua que causan toxicidad son el sodio, boro y cloro, como se observa en el Cuadro 3 (Ayers y Westcot, 1985).

En un entorno salino se puede producir toxicidad de iones específicos, como la relación anormalmente alta entre Na^+ y K^+ ; asimismo, cuando se tienen altas concentraciones de Na^+ y Cl , lo que inhibe la fotosíntesis, afectando enormemente la producción (Ahmad et al., 2013).

a. Toxicidad por sodio

Los síntomas típicos de su toxicidad son quemaduras de hojas y tejido muerto a lo largo de los bordes externos de las mismas. Normalmente se requiere un período de tiempo prolongado antes de que la acumulación alcance concentraciones tóxicas. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas, comenzando en los bordes externos y, a medida que aumenta la gravedad, se mueven progresivamente hacia adentro entre las venas. Los cultivos sensibles incluyen frutas caducifolias, nueces, cítricos, aguacates y frijoles, pero hay muchos otros (Ayers y Westcot, 1985).

b. Toxicidad por cloro

La toxicidad del cloro ocurre en todo el mundo y es un factor que limita el crecimiento de las plantas particularmente en zonas áridas y semiáridas (Teakle y Tyerman, 2010, citados por Marschner, 2012). Esta toxicidad es la más común y se manifiesta debido a la alta movilidad del cloruro que es absorbido por el cultivo, el cual se mueve en la corriente de transpiración y se acumula en las hojas. Si la concentración de cloruro en las hojas excede la tolerancia del cultivo, los síntomas que involucran lesiones se desarrollan, como la quema de hojas o el secado del tejido foliar. Normalmente las lesiones de la planta ocurren primero en las puntas de las hojas y progresa desde la punta hacia atrás a lo largo de los bordes a medida que aumenta la gravedad del daño; en consecuencia, la necrosis excesiva a menudo va acompañada de una caída temprana de la hoja o defoliación. En cultivos sensibles, estos síntomas ocurren cuando las hojas se acumulan de 0.3 a 1.0 por ciento de cloruro en base al peso seco, pero la sensibilidad varía entre las especies (Ayers y Westcot, 1985). Asimismo; Reisenauer et al. (1973) también menciona que la reducción en producción y calidad del cultivo está asociada a niveles de concentración en tejidos, para cultivos sensibles de 0.5 a 2.0 % respecto a la materia seca.

c. Toxicidad por boro

El boro es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y es necesario en cantidades relativamente pequeñas (Mengel y Kirkby, 2001). Al encontrarse en concentraciones notablemente mayores de las necesarias, se vuelve tóxico para algunos cultivos. Un nivel de 0.2 mg.kg^{-1} de boro en agua es esencial; pero, de 1 a 2 mg.kg^{-1} puede ser tóxico. La mayoría de los síntomas de toxicidad de los cultivos se producen después de

que las concentraciones de boro en las hojas exceden los 250-300 mg.kg⁻¹ de peso seco (Ayers y Westcot, 1985).

Cuadro 3: Grado de restricción de uso del agua de riego por toxicidad de iones específicos.

Problema potencial Toxicidad de iones específicos	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera-moderada	Alta
Sodio				
Riego por superficie	meq.l ⁻¹	< 3.0	3.0-9.0	> 9.0
Riego por aspersión		< 3.0	> 3.0	
Cloro				
Riego por superficie	meq.l ⁻¹	< 4.0	4.0-10.0	> 10.0
Riego por aspersión		< 3.0	> 3.0	
Boro				
	mg.kg ⁻¹	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Fuente: Ayers y Westcott, 1985

2.2.4 Misceláneos

Existen otros problemas que ocurren con cierta frecuencia, estos incluyen altas concentraciones de nitrógeno en el agua como alta concentración de bicarbonato, yeso, hierro y varias anomalías asociadas con un pH inusual del agua.

a. Nitrógeno en el agua

El nitrógeno es un nutriente esencial que estimula el crecimiento del cultivo (Mengel y Kirkby, 2001); sin embargo, al encontrarse en el agua de riego tiene el mismo efecto que el fertilizante nitrogenado aplicado en el suelo, por lo que un exceso causará problemas en el cultivo al igual que un exceso de fertilizante. Si se aplican cantidades excesivas de nitrógeno, la producción puede alterarse debido a la sobre estimulación del crecimiento, la madurez tardía o la mala calidad del producto cosechado (Ayers y Westcot, 1985).

Las formas más fácilmente disponibles de nitrógeno son el nitrato y el amonio, siendo ambos afectados por la competencia iónica del cloruro y sodio, respectivamente (Grattan y Grieve, 1994).

b. pH del agua

El pH es un indicador de la acidez o basicidad del agua, rara vez es un problema en sí mismo. El rango de pH normal para el agua de riego es de 6.5 a 8.4 y el agua de riego con un pH fuera del rango normal puede causar desequilibrios nutricionales (Ayers y Westcot, 1985).

c. Bicarbonato en el agua

El agua de riego que contiene una alta proporción de sales poco solubles como las que contienen calcio, bicarbonato y sulfato, presentan continuo problema de formación de precipitados blancos en las hojas o frutos cuando se usan los aspersores, aunque no existe toxicidad; son motivo de especial preocupación cuando se cultivan flores, verduras o frutas para el mercado de productos frescos (Ayers y Westcot, 1985) y en el uso de sistemas presurizados.

Cuadro 4: Grado de restricción del uso del agua de riego por problemas misceláneos.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera-moderada	Alta
N-NO ₃ ⁻	mg.kg ⁻¹	< 5.0	5.0-30.0	> 30.0
Bicarbonato(aspersión)	me. l ⁻¹	< 1.5	1.5-8.5	> 8.5
pH		normal	6.5- 8.4	

Fuente: Ayers y Westcott, 1985

2.3 MECANISMOS DE LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE LAS PLANTAS

En principio, la tolerancia a sales se puede lograr mediante la exclusión o la inclusión de estas por parte de la planta, De esta forma, la adaptación por exclusión de sal requiere mecanismos para evitar un déficit interno de agua; mientras que la adaptación por inclusión de sal requiere una alta tolerancia del tejido a Na⁺¹ y Cl⁻¹; existe un amplio espectro de grados de exclusión e inclusión, tanto entre Na⁺¹ y Cl⁻¹ y entre diferentes partes y órganos de las plantas (Marshner, 2012).

Según Marshner (2012), los mecanismos de tolerancia a las sales se dividen en dos grupos:

2.3.1 Exclusión de sales

La alta tolerancia a la sal en las especies de cultivos a menudo está relacionada con la exclusión de iones tóxicos (Greenway y Munns, 1980).

Los mecanismos de exclusión se caracterizan por evitar el déficit de agua interno. Esta vía es muy utilizada por glicófitas, puesto que estas plantas no tienen la capacidad de tolerar la absorción excesiva de sales; por tal motivo, estas plantas absorben menos cantidad de sales a comparación de las halófilas (Greenway y Munns, 1980; Gorham et al., 1985).

Existen casos de selectividad en la exclusión de sales. A diferencia del cloro, el transporte del sodio a los brotes es efectivamente restringido en frijoles; así como en muchas otras especies sensibles a sales.

Según Sykes (1992), la capacidad de exclusión del cloro está basada en genes dominantes y es independiente de la exclusión de sodio por los brotes de los cultivos.

En el caso de las halófitas el mecanismo de exclusión se basa en barreras muy desarrolladas en las raíces que las protegen de una absorción pasiva de sales; un claro ejemplo, es el tamaño de las bandas de Casparry que son entre 2 a 3 veces más grandes en halófitas que en especies glicófitas (Poljakoff-Mayber, 1975).

2.3.2 Inclusión de sales

Según Mengel y Kirkby (2001), ante la salinidad, la planta pierde turgencia y posteriormente la capacidad de crecimiento. Sin embargo, los mecanismos de inclusión consisten en una alta tolerancia de los tejidos a sodio y cloro; además, de evitar altas concentraciones de estos en los tejidos. Esta vía es usual de plantas halófilas como las de la familia *Chenopodiaceae*, las cuales usan el Cl^- y Na^+ para mantener su turgencia.

En plantas que practican la inclusión, tanto el sodio como el cloro son distribuidos eficientemente entre hojas viejas, jóvenes, tallos y órganos reproductivos; no obstante,

restringir la excesiva concentración de sodio y cloro en hojas jóvenes es una característica de especies tolerantes a sales.

En genotipos en los que la inclusión de sal es la estrategia predominante, el ajuste osmótico se logra mediante la acumulación de sales como NaCl en el tejido foliar (Flowers, 1988); esto implica la transferencia de iones a la vacuola para evitar niveles tóxicos de concentración de iones en el citoplasma. En ciertas halófitas la relación Na/K puede ser 20 veces más alta en la vacuola que en el citoplasma. Para el ajuste osmótico del citoplasma y sus organelos se tienen que sintetizar solutos que no interfieran con los procesos metabólicos de la planta en el citoplasma, los más comunes son aminoácidos como prolina, glicina-betaína y varios polioles, tanto en glicófitas como halófitas (Parida y Das, 2005).

En tejidos vegetales, las especies de oxígeno reactivo (ROS) como el peróxido de hidrógeno, superóxido o los radicales hidroxilos se forman en el citosol, cloroplastos y mitocondrias por diversos procesos metabólicos. El estrés por salinidad y por sequía promueven el aumento de la concentración de ROS en las plantas (Fadzilla et al., 1997; Mittler, 2002); asimismo, la transcripción de genes que codifican antioxidantes, las enzimas y su actividad en los tejidos vegetales son usualmente incrementados en respuesta al estrés salino. En numerosas especies vegetales, la tolerancia a la salinidad esta correlacionada positivamente con el incremento de enzimas que limitan el daño de las ROS, por ejemplo, en tomate, la protección de los cloroplastos frente al daño oxidativo por salinidad está relacionado con el actuar de la superóxido dismutasa y peroxidasa (Hernández et al., 1995). Mientras, las halófilas reducen la concentración de sal del tejido fotosintéticamente activo por diversos mecanismos, como la excreción por las glándulas de sal, desprendimiento de sal de hojas saturadas y retranslocación a otros órganos (Waisel et al., 1986).

2.4 FERTILIZACIÓN NITRO-FOSFATADA Y ESTRÉS SALINO

Los fertilizantes son necesarios para aportar nutrientes a los cultivos y que estos tengan un desarrollo saludable. Según FAO (2001), un fertilizante es cualquier material natural o industrializado que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O). Los fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes minerales.

2.4.1 El nitrógeno y el estrés salino

En general, el nitrógeno es el nutriente más limitante para el crecimiento de la planta en la mayoría de los suelos, independientemente de solución salina o no salina. En consecuencia, la aplicación de fertilización nitrogenada mejora el crecimiento de la planta y su rendimiento, debido a que es un componente estructural de las células vegetales, como aminoácidos y ácidos nucleicos.

La absorción de nitratos es dificultada por la salinidad, especialmente al alto contenido de cloruros (Khan y Srivastava, 1998); debido a ello, es posible una deficiencia de NO_3^- inducida por sales, lo que resulta en una reducción del rendimiento y crecimiento de la planta. Respecto al antagonismo entre NO_3^- y Cl^- , existe evidencia del efecto positivo de la aplicación de nitrato, el cual disminuyó la concentración de Cl^- en las hojas de un cultivo estresado por sales (Deane-Drummond, 1986; Hu y Schmidhalter, 1997) y mejoró el desarrollo del brote de arroz y su biomasa en condiciones de salinidad (Abdelgadir et al., 2005).

Asimismo, muchos cultivos son susceptibles a toxicidad por cloruros (Grattan y Grieve, 1994), donde el estado de la membrana afecta la absorción de NO_3^- por cambios en la integridad del plasmalema (Frechilla et al., 2001), teniendo así un efecto directo en la estructura de la célula.

En el caso del NH_4^+ , tiene competencia directa (antagónica) con Na^+ (Hawkins y Lewis, 1993).

Estos cambios en la absorción de nutrientes nitrogenados influyen en diferentes pasos de transporte y metabolismo del nitrógeno, como absorción, reducción ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$) y síntesis de proteínas (Frechilla et al., 2001); de esta forma, la sensibilidad de las plantas a la salinidad cambia por la forma del nitrógeno disponible (Speer y Kaiser, 1994).

2.4.2 El fósforo y el estrés salino

El fósforo es un macronutriente esencial para las plantas, participa en la respiración y fotosíntesis y constituye los fosfolípidos de la membrana plasmática y ácidos nucleicos (Taiz y Zeiger, 2006). Participa en la regulación de algunas enzimas (fosforilación), transferencia de energía y transporte de carbohidratos. Sin embargo; es uno de los nutrientes más inmóviles en los suelos (Holford, 1997). Se estima que la reducción del treinta al cuarenta

por ciento de la productividad en los cultivos es causada por la limitación de este elemento (Vance et al., 2003). Debido a su baja disponibilidad es limitado en la mayoría de los suelos; por ello, su aplicación mejora el crecimiento de cultivos como la cebada, maíz y guisante (Shenker et al., 2003; Yousfi et al., 2007; Nenova 2008). En situaciones de estrés salino se disminuye la absorción y la concentración de fósforo en los tejidos vegetales; debido a ello, las plantas exhiben crecimiento reducido y atrofiado, coloración verde oscuro en las hojas, tallos delgados y muerte de hojas viejas (Taiz y Zeiger, 2006). La presencia de NaCl induce una alta fuerza iónica en el suelo y reduce la actividad del fósforo. A diferencia del antagonismo de NO_3^- y Cl^- , la interacción entre el ion H_2PO_4^- y el ion Cl^- no es competitiva; sin embargo; en varios estudios se ha registrado reducciones inducidas por la salinidad en las concentraciones de fósforo en los tejidos vegetales.

La aplicación de este elemento a los suelos salinos puede mejorar el crecimiento de los cultivos en varios casos, aunque la salinidad y la deficiencia de fósforo reducen el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos. El estrés más severo determina el grado de restricción en desarrollo de la biomasa de la planta y el grado de tolerancia a la sal ha sido relacionado con los cloruros, por lo que el rendimiento del cultivo podría mejorarse a través de la fertilización fosfatada (Kaya et al., 2001; Naheed et al., 2008).

2.4.3 Fuentes de nitrógeno y fósforo

El fertilizante nitrogenado utilizado fue la Urea con 46 % de nitrógeno. Es considerada una fuente importante a nivel mundial por su alto contenido de nitrógeno y costo, por ello tiene amplio uso en la agricultura (FAO, 2001). Al incorporar Urea al suelo se hidroliza rápidamente por acción de la enzima ureasa, en esta reacción cierta parte del nitrógeno se pierde por volatilización como NH_3 ; a su vez, el NH_4^+ liberado es absorbido por la fracción coloidal del suelo y subsiguientemente nitrificado (NO_3^-) y absorbido por las plantas. Este fertilizante tiene un índice de salinidad de 75.4 %; no obstante, esto lo compensa con la gran cantidad de nitrógeno que posee. Además, presenta un índice de acidez de 75 a 80 (Tisdale, 1993). Autores como Mengel y Kirkby (2001) mencionan que se obtuvieron rendimientos más altos con 2mM de nitrato de amonio que con 8 mM de úrea en cultivo de girasol debido a una mayor eficiencia en su asimilación; no obstante, el nitrato de amonio tiene un índice salino de 105 %, salinizando más que la úrea.

En el suelo, el amonio sirve de alimento a varios microorganismos, en especial las bacterias nitrosomonas, estas bacterias toman el amonio y lo oxidan a nitrito, el cual puede ser absorbido por las plantas, pero es tóxico para ellas; por otro lado, las bacterias nitrobacter oxidan los nitritos a nitratos, los cuales son liberados a la solución. El proceso biológico de amonio a nitrato se llama nitrificación y los nitratos generados pueden ser absorbidos por las plantas o lixiviados. Los factores que favorecen la nitrificación son una alta población de microorganismos nitrificadores, temperatura del suelo por sobre 10 °C, pH superior a 5.5, adecuado suministro de calcio y fósforo y aireación para el desarrollo de los microorganismos nitrificadores (Fernandez del Pozo, 1984).

El fertilizante fosfatado utilizado fue el superfosfato triple. Es un fertilizante con una gran cantidad de fósforo, 46 % de P₂O₅, y entre el 95 a 98 % del fósforo presente es soluble en agua, por lo que se encontrará disponible para la planta. Posee índice salino de 21 %, por lo cual se usó en el experimento; además, acidifica el suelo que rodea al gránulo (Tisdale, 1993).

2.5 EL CULTIVO INDICADOR

El cultivo indicador fue ají Jalapeño, un cultivo de interés comercial y moderadamente tolerante a sales.

2.5.1 Origen y distribución del ají Jalapeño

El origen del género *Capsicum* se remite a las regiones áridas de los Andes, las que hoy forman parte de países como Perú y Bolivia, luego migraron a las regiones bajas tropicales de las Américas (Bosland y Votava, 2012). Este género registra no menos de veinte especies entre las cuales figuran malezas y algunas de interés comercial tales como: *Capsicum baccatum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum pendulum*, *Capsicum pubescens* y *Capsicum annuum*, esta última es la más importante por su uso en la dieta humana y amplia distribución geográfica. Distintos autores consideran que *Capsicum annuum* se originó y domesticó en mesoamérica, exactamente en México y Guatemala (Pickersgill, 1971; Marcia y Portillo, 2009; Adatao et al., 2014; Solis, 2015).

El ají jalapeño (*Capsicum annum var. annum* L.), cuyo nombre proviene de su tradicional centro de producción (Xalapa, Veracruz, México), es una de las variedades picantes de esta

especie, la más cultivada en México y consumida en América. Dentro de los ajés jalapeños existen diversos cultivares como Mitla, El Rey, Grande, Ixtapa, Magnific, Monet, Norteño (Aduato et al., 2014).

El jalapeño proviene principalmente de América del norte y Centro América; sin embargo, se ha expandido por todo el mundo, por ejemplo, China, Japón, Corea, Estados Unidos, España, entre otros (Aduato et al., 2014; Solis, 2015).

2.5.2 Clasificación taxonómica

La siguiente clasificación taxonómica fue elaborada por Bosland y Votava (2012)

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoidae
Tribu:	Solaneae
Subtribu:	Capsicinae
Género:	Capsicum
Especie:	annuum
Variedad:	annuum

Nombre científico: *Capsicum annuum var. annum* L.

2.5.3 Descripción botánica

El género *Capsicum* en su mayoría cuenta con especies diploides con 24 cromosomas ($2n=2x=24$) y tienen uno o dos pares de cromosomas acrocéntricos con 10 o 11 pares de cromosomas metacéntricos o submetacéntricos (Russo, 2012; Solis, 2015).

Nuez (1996) indicó que el ají Jalapeño posee un sistema radicular pivotante provisto y reforzado de un número elevado de raíces adventicias; en contraste, Bosland y Votava (2012) afirman que la presencia de este tipo de raíz es inusual.

El tallo es de crecimiento erecto y limitado, con un porte que puede variar entre 0.5m y 1.5m de acuerdo a la edad; además, los tallos tienden a lignificar.

Las hojas pueden ser lampiñas o pubescentes, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice acuminado y un pecíolo largo o poco aparente.

Las flores poseen corola blanquecina y aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción axilar; su fecundación es autógena y no supera el 10 por ciento de alogamia.

El fruto es una baya casi cartilaginosa y deprimida de color rojo cuando está madura, que se puede insertar pendularmente, con tamaño y forma muy variable.

Las semillas tienen forma redondeada y ligeramente reniforme, de color amarillo pálido; suelen tener 3-5 mm de longitud y se insertan sobre la placenta cónica de disposición central. En un gramo se pueden tener de 150 a 200 semillas y su poder germinativo dura de tres a cuatro años.

El color verde del fruto inmaduro se debe a las altas cantidades del pigmento clorofila acumulado en el pericarpio; los frutos maduros pueden tomar color rojo o amarillo debido a los pigmentos licopersicina, caroteno y xantofila. Por otro lado, su pungencia o grado de picor es debido al pigmento capsicina (Braver y Richardson, 1957; Puertos y Gastelu, 2011).

2.5.4 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo

La planta de ají es exigente en temperatura; las temperaturas diurnas entre 24 y 30 °C y las nocturnas entre 9 y 12 °C son consideradas ideales para el crecimiento del cultivo (Marcia y Portillo, 2009).

La humedad óptima oscila entre 50 % y 70 % y valores muy elevados favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas y dificultan la fecundación. La combinación de altas temperaturas y baja humedad relativa pueden ocasionar caída de flores, de frutos recién cuajados y una marchitez general (Aduato et al., 2014).

Es una especie muy exigente en luminosidad, sobre todo durante los primeros estados de desarrollo y la floración (Aduato et al., 2014). Con respecto a la altitud, se puede cultivar óptimamente hasta los 2000 m.s.n.m. (Marcia y Portillo, 2009).

El ají Jalapeño responde favorablemente a los suelos profundos que no se compactan fácilmente porque son nocivas las capas que dificulten el drenaje, ya que posee un sistema radicular muy sensible a la asfixia. Desde el punto de vista sanitario, se recomienda rotación con cereales, leguminosa o aliacea.

La acidez es un factor limitante en este cultivo; en suelos ácidos, de pH entre 4 y 5,5, se producirán efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas como la dificultad de absorción de nutrientes del suelo. En suelos de pH alto, a partir de 6.8, particularmente en presencia de cal, se puede inmovilizar el fósforo y el hierro (Maroto, 1990, citado por Nuez et al., 1996). Bosland y Votava (2012) señalan un valor de pH óptimo entre 6.5 y 7.0.

Con respecto a la influencia de las sales en el cultivo, Lorenz y Maynard (1980) estiman que los suelos con conductividades eléctricas de extracto saturado de 2 dS.m⁻¹ producen un 10 % de pérdida de rendimiento. Estas pérdidas ascienden al 25 % y 50 % para conductividades de 3 y 5 dS.m⁻¹, respectivamente. La respuesta y efectos del estrés salino están muy ligadas a la etapa fenológica del cultivo; si las condiciones salinas se dan a temprana edad, los rendimientos se reducirán de forma notable; pero, en etapas más avanzadas las sales disminuirán de forma ligera el rendimiento.

En suelos con antecedentes de *Phytophthora sp.* es conveniente realizar una desinfección previa de las plántulas con Metalaxyl a una dosis de 50 gramos disuelto en 20 litros de agua y el pH óptimo del agua de riego es de 5.5 a 7.0 (Aduato et al, 2014).

2.5.5 Efecto de la salinidad en los Capsicum

Un factor que podría afectar la producción del Capsicum, y la agricultura en general, es la salinidad del suelo y del agua usada en el riego. El aumento de la salinidad podría resultar en una reducción de suelos aptos para producir cultivos consumidos por los humanos (Villa-Castorena et al., 2003; Rozema y Flowers, 2008); esta se considera una limitante debido a que ocasiona una serie de efectos perjudiciales a causa del estrés osmótico que ejerce sobre la planta como inhibir su crecimiento y desarrollo, desequilibrar de nutrientes y favorecer a la toxicidad específica de los iones (Marschner, 2012; Munns y Tester, 2008); no obstante, muchos cultivos de hortalizas, incluidos los Capsicum podrían producirse comercialmente con agua salina de baja o moderada salinidad, siempre que el riego y las prácticas culturales se manejen adecuadamente (Pasternak y Malach, 1994).

Los primeros estudios clasificaron a los Capsicum como moderadamente sensibles al estrés salino (Maas y Hoffman, 1977; Pasternak y Malach, 1994); a su vez, la reducción del rendimiento de estos comenzó cuando la conductividad eléctrica (CE) del suelo a extracto de saturación fue mayor que $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Maas y Hoffman, 1977); sin embargo, los estudios más recientes han indicado que algunos genotipos de ajíes son más tolerantes a la salinidad que otros (Niu et al., 2010). En un estudio en *C. annuum* cv. Sandia, cuando se aplicó nitrógeno a una cantidad proporcional al desarrollo de la planta, se incrementó el crecimiento y su rendimiento, bajo una salinidad del suelo que alcanzó los $6.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Villa-Castorena et al., 2003).

Las propiedades químicas y físicas del suelo tales como pH, acumulación de sales, permeabilidad y la porosidad afectan las respuestas de la planta a la salinidad (Shannon et al., 1994) y el factor edad del cultivo es determinante, dado que las plántulas más jóvenes son más sensibles al estrés por salinidad (Niu et al., 2010b). Por otro lado, a nivel de especie *Capsicum chinense* parece ser más sensible a sales que *Capsicum annuum* (Bostland, 2012).

2.5.6 Fertilización en los Capsicum

Una correcta fertilización es esencial para lograr un adecuado desarrollo del ají, siendo estas plantas relativamente eficientes en la absorción de nutrientes del suelo (Santos, 2012). La dosis nutricional adecuada se suele calcular pensando en un cultivo de duración de 3 a 10 meses; de esta manera, el tipo de suelo, clima y manejo del cultivo son los factores que

afectaran la dosis de fertilización a escoger. En el suelo el flujo de nutrientes se verá afectado por la infiltración y retención del mismo, por ello los Capsicum que crecen en campo abierto necesitan una fertilización superior a aquellos que crecen en invernadero.

Algunos manuales establecen valores referenciales de absorción de N y P, siendo la absorción promedio por hectárea de 156-160 y 160-205 kg (Maynard y Hochmuth, 2007). Solis (2015) establece una dosis de fertilización 240-140-260 +60 CaO +40 MgO para condiciones de la costa peruana.

2.5.7 Relevancia en la alimentación humana

Los ajíes poseen frutos que en su estado de madurez tienen colores rojos, naranjas y amarillos, los compuestos responsables de esta coloración son los carotenoides. El color rojo se debe principalmente a dos carotenoides: capsanthina y capsorubina; mientras que el color amarillo y naranja son producidos por β -caroteno y violaxantina. La capsanthina es el principal carotenoide de frutos maduros con un porcentaje de más de 60 % del total; asimismo, otro antioxidante que poseen los ajíes es la vitamina C (Bosland y Votava, 2012; Solis, 2015).

2.5.8 Potencial exportador e importancia económica

En año 2016, el Perú exportó 125 mil toneladas de Capsicum que equivalente a 249 millones de dólares, donde destaca la forma de conserva como la de mayor participación. Hace cinco años, el Perú llegó a ser el mayor productor de paprika del mundo, hoy superado por China y México; el ají Jalapeño se exportó el 2016 a un valor de 12 814 mil dólares, siendo el cuarto en importancia después de la paprika, piquillo y bell pepper.

El cultivo de ají Jalapeño es relativamente joven en el país, inicialmente se instaló en la costa norte y posteriormente en la selva central; después se expandió a la selva central, al valle de Chanchamayo (Aducci et al., 2014). La región que concentra la mayor producción de Capsicum en el Perú es Lambayeque con 53 861 toneladas para el 2016. Por otro lado, los países exportadores están liderados por China (1 461 442 t), España (1 292 889 t) y México (1 249 882 t), siendo el principal destino de los Capsicum peruanos los Estados Unidos (MINAGRI, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación

El ensayo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio e Invernadero de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía Hermosa” del Departamento Académico de Suelos de la Facultad de Agronomía en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), durante el período de febrero a setiembre del 2017, ubicado en las siguientes coordenadas:

Latitud: 12°04'55" S
Longitud: 76°56'53" O
Altitud: 251 m.s.n.m.

3.1.2 Características climatológicas

Los datos de temperatura, radiación solar y humedad relativa (Cuadro 5) se obtuvieron de la Estación Meteorológica “Alexander Von Humboldt” ubicada en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

- **Temperatura**

Durante el ensayo experimental, la temperatura máxima promedio fue de 31.6 °C y la mínima de 13.7 °C, en los meses de febrero y agosto, respectivamente. Temperaturas en un rango de 18 °C a 32 °C favorecen al incremento del rendimiento; sin embargo, si durante la etapa de floración y fructificación se presentan temperaturas no adecuadas, se reduce la fructificación y la calidad del fruto (Adauro et al., 2014).

- **Radiación solar**

La radiación solar máxima se presentó durante el mes de marzo con 410.6 cal/cm²/día y la mínima en el mes de junio con 187.2 cal/cm²/día. La radiación solar es importante para el desarrollo adecuado del cultivo; no obstante, en exceso es perjudicial, más en los meses de verano que constituye una carga excesiva de luz y calor para hojas y frutos (Glenn et al., 2002).

- **Humedad relativa**

La mayor humedad relativa se presentó en el mes de agosto con 90 %; mientras que en enero se presentó el menor valor con 70 %. Según Adatao et al (2014), la humedad relativa óptima oscila entre 50 % y 70 %, siendo una elevada humedad perjudicial al favorecer el desarrollo de enfermedades aéreas y agrietamiento de fruto, limitar la fecundación y causar aborto de flores; por otro lado, la baja humedad relativa dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Puertos y Gastelu, 2011).

Cuadro 5: Datos meteorológicos obtenidos durante el desarrollo de la fase experimental.

Mes	Temperatura			Radiación solar cal/cm ² /día	Humedad Relativa %
	Media	Máx. C°	Mín.		
Febrero	27.2	31.6	21.5	396.6	70
Marzo	27.1	31.3	21.8	410.6	74
Abril	24.1	28.4	18.7	364.6	79
Mayo	21.2	24.9	17.6	264.6	85
Junio	18.3	21.2	15.7	187.2	88
Julio	17.6	21.0	15.0	233.3	86
Agosto	16.5	20.2	13.7	225.4	90

FUENTE: Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt - UNALM

3.1.3 Características del sustrato

Se utilizó arena de río por ser considerado un sustrato óptimo para resaltar el efecto de los factores en estudio. Se colectó 200 kg de arena de río, se secó al aire, homogenizó y tamizó por un tamiz de 2 mm. Las macetas fueron llenadas con 4 kg de sustrato.

En el cuadro 6 se observa las características del suelo utilizado, el cual posee pH moderadamente alcalino (8.15) y conductividad eléctrica en 1:1 de 0.52 dS.m⁻¹ propia de un suelo no salino; por lo tanto, los cultivos no presentan una restricción en su desarrollo por el factor sales. El nivel de carbonato de calcio no representa riesgo al cultivo (0.2 %) y el tenor de materia orgánica es bajo (0.2 %). El fósforo y potasio extractable presentan valores bajos, 3.3 mg.kg⁻¹ y 63 mg.kg⁻¹, respectivamente. El sustrato presenta una capacidad de intercambio catiónica de 6.41 cmol(+).kg⁻¹ y es clasificada como baja; asimismo, posee valores insuficientes de calcio, magnesio, potasio y sodio al tratarse de un material casi inerte y sin presencia significativa de coloides. Las relaciones catiónicas que se pueden obtener a partir del análisis son óptimas para Ca²⁺/Mg²⁺ y deficientes en potasio con respecto a ambas. Asimismo, su capacidad de campo es 7.9 % y el punto de marchitez en 2.1 % (Cuadro 7).

Cuadro 6: Caracterización físico química del sustrato experimental.

Características	Unidades	Sustrato	Análisis realizado
Arena	%	97	
Limo	%	3	
Arcilla	%	0	
Clase Textural		A.	Método del hidrómetro
pH _(1:1)	---	8.15	Método del potenciómetro
C.E _(1:1)	dS.m ⁻¹	0.52	Lectura extracto en relación suelo agua, método del potenciómetro
CaCO ₃	%	0.2	Método gaso-volumétrico
M.O.	%	0.2	Método de Walkley y Black
Fósforo extractable	mg.kg ⁻¹	3.3	Método de Olsen modificado
Potasio extractable	mg.kg ⁻¹	63	Extracto de acetato de amonio
CIC	cmol _c .kg ⁻¹	5.64	Acetato de amonio
Ca ²⁺	"	4.56	Espectrofotometría de absorción atómica
Mg ²⁺	"	0.65	Espectrofotometría de absorción atómica
K ⁺	"	0.22	Espectrofotometría de absorción atómica
Na ⁺	"	0.21	Espectrofotometría de absorción atómica
Al ³⁺ + H ⁺	"	0	Método de Yuan
Suma de cationes	"	5.64	
Suma de bases	"	5.64	

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM.

Cuadro 7: Análisis de humedad equivalente, capacidad de campo y punto de marchitez del sustrato experimental.

Parámetro	Unidad	Valor
Humedad equivalente		3.9
Capacidad de campo	%	7.4
Punto de marchitez		2.1

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM.

3.1.4 Características del agua de riego

Se aplicaron tres niveles de salinidad de agua de riego 1.0, 2.3 y 3.4 dS.m⁻¹, durante el desarrollo del experimento. El agua de 2.3 dS.m⁻¹ resulto de la mezcla en proporción 1:1 de las otras dos fuentes del recurso hídrico. En este experimento se utilizó agua únicamente de fuentes naturales, sin adicionar NaCl para elevar la salinidad.

En el cuadro 8 se aprecian las tres fuentes de agua de diferente salinidad empleadas en este experimento, clasificadas según Ayers y Wescott (1985) bajo parámetros utilizados mundialmente por la FAO.

a. Agua de Huachipa

El agua tiene un pH normal y la conductividad eléctrica es la adecuada para la mayoría de cultivos; pero, presenta ligera a moderada restricción de uso. Posee un RAS de 0.81, por lo cual no existen riesgo de reducción de infiltración ocasionado con el sodio. Es un agua dura (43.65) y los valores de cloro, sodio y boro no representan riesgo para el cultivo de ají Jalapeño. Según Riverside (1954) se clasifica como C3-S1.

b. Agua de pozo UNALM

El agua tiene un pH normal y conductividad eléctrica con severo grado de restricción de uso. Su RAS es de 2.94, por lo que no existe riesgo de reducción de infiltración ocasionado por el sodio. Los valores de cloro y el sodio representan peligroso para el cultivo; además, el

boro genera un ligero a moderado riesgo para cultivos sensibles. Es un agua muy dura (122.83) y de acuerdo a Riverside (1954) se clasifica como C4-S1.

c. Agua de Mezcla (1:1)

Fue una mezcla de 50 % de agua de Huachipa (1.0 dS.m⁻¹) y 50 % de agua de pozo UNALM (3.4 dS.m⁻¹), la cual se realizaba cada vez que se procedía a regar. Presenta valores normales de pH y ligera a moderada restricción de uso debido a su salinidad. El RAS es de 1.92 y no implica problemas de infiltración ocasionada por el sodio; mientras, el nivel de cloro si representa un riesgo severo en restricción de uso del agua y el sodio y boro de ligero a moderado. Es un agua muy dura y para Riverside (1954) se clasifica como C4-S1.

Cuadro 8: Caracterización de las aguas de riego.

Características	Unidades	Huachipa	Mezcla (1:1)	Pozo UNALM
pH	----	8.01	7.86	7.75
C.E. (1:1)	dS.m ⁻¹	1.01	2.27	3.37
RAS	----	0.81	1.92	2.94
Boro	mg.kg ⁻¹	0.31	0.84	1.11
Calcio	meq.l ⁻¹	7.50	14.35	19.95
Magnesio	meq.l ⁻¹	1.22	3.00	4.58
Potasio	meq.l ⁻¹	0.10	0.18	0.26
Sodio	meq.l ⁻¹	1.70	5.65	10.30
Suma de cationes (+)	meq.l ⁻¹	0.52	23.18	35.09
Nitratos	meq.l ⁻¹	0.12	0.23	0.25
Carbonatos	meq.l ⁻¹	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos	meq.l ⁻¹	3.54	2.87	2.21
Sulfatos	meq.l ⁻¹	3.70	8.81	13.10
Cloruros	meq.l ⁻¹	3.20	11.20	19.50
Suma de aniones (-)	meq.l ⁻¹	10.56	23.11	35.06
Clasificación		C3-S1	C4-S1	C4-S1

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM.

3.1.5 Cultivo indicador

Los plantines de ají Jalapeño cultivar Daniel F1 se obtuvieron de la “Plantinera Sayán”, son de moderada tolerancia a la salinidad. Se trasplantó a las macetas cuando contaron con 4 hojas verdaderas.

3.1.6 Fertilizantes empleados

Los fertilizantes utilizados en el ensayo fueron Urea (46 % N) como fuente nitrogenada y superfosfato triple de calcio como fuente de fósforo (46 % P₂O₅).

a. Urea granulada: fertilizante convencional muy utilizado por su alta concentración de nitrógeno. Se obtiene en forma granulada con 46 por ciento de nitrógeno, el cual se encuentra en forma amídica (NH₂). Tiene un índice salino de 74.4 % y un índice de acidez de 75 a 80 % (Tisdale, 1993).

b. Súper fosfato triple de calcio: fuente de fósforo altamente concentrada con un 46 por ciento de P₂O₅, tiene un índice salino (10.1 %) y es de reacción neutra (Tisdale, 1993).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial doble, tres niveles de salinidad de agua y tres niveles de fertilización, teniendo 9 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Los resultados obtenidos en la determinación de peso seco de follaje, raíz, fruto y total de planta, concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, cloro y sodio foliar; así como, la conductividad eléctrica y pH del sustrato fueron sometidos a la prueba de análisis de varianza (ANVA) y los promedios fueron comparados mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de 5 %.

Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico gratuito Infostat 2018, versión estudiantil.

El modelo aditivo lineal del diseño fue el siguiente:

$$Y_{ij(k)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ikj}$$

De donde:

$Y_{ij(k)}$ = Variable de respuesta al usar la i-ésima fuente de agua y el j-ésimo nivel de fertilización obtenido en la k-ésima maceta.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto de la i-ésima fuente de agua.

β_j = Efecto del j-ésimo nivel de fertilización.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la i-ésima fuente de agua y j-ésimo nivel de fertilización

ϵ_{ikj} = Efecto del error experimental

i = 1, 2, 3 fuentes de aguas de distinta salinidad.

j = 1, 2, 3 niveles de fertilización.

k = 1, 2, 3, 4 repeticiones.

3.2.2 Desarrollo del experimento

a. Instalación

El sustrato fue secado al aire y tamizado a través de un tamiz de 2 mm, para finalmente mezclar y obtener un sustrato homogéneo.

b. Preparación de las macetas

Las macetas fueron rotuladas de acuerdo a los tratamientos, se taparon las aberturas de infiltración con cinta y se llenó cada una con 4 kg de arena; Después se ubicaron en forma aleatoria en una estructura de metal, posteriormente se llevó el sustrato a capacidad de campo utilizando agua de 1.0 dS.m⁻¹.

c. Trasplante

La bandeja almaciguera se sumergió en una solución con fungicida-nematicida, posteriormente se realizó el trasplante colocando 1 plántula con 4 hojas verdaderas por maceta, el experimento empezó el día 20 de febrero del 2017.

d. Riego

El sustrato se llevó a capacidad de campo 24 horas antes del trasplante. El riego diario promedio fue de 100 ml de agua al día, dividido en dos riegos, uno en la mañana y uno en la tarde o de acuerdo a la demanda hídrica. Durante los primeros quince días, para el establecimiento del cultivo, el riego se realizó con el agua menos salina. Asimismo, se incrementó con el mayor desarrollo vegetativo; no obstante, la temperatura disminuyó en los meses de abril a agosto (Cuadro 5), por lo que no se produjo un incremento constante de la demanda de agua por el cultivo y se ajustó el riego a los requerimientos específicos por tratamiento.

e. Desbotonado

La floración empezó a darse a inicios de abril, siendo perjudicial para el desarrollo de la planta que se encontraba aún muy joven y en crecimiento vegetativo, por lo que se procedió a desbotonar las flores hasta inicio del mes de mayo.

f. Fertilización fosfatada

El fósforo se aplicó utilizando superfosfato triple de calcio a los 7 días antes del trasplante. Se mezcló el fertilizante con el sustrato de manera homogénea en cada maceta, la dosis incorporada fue de 150 mg kg⁻¹ y 300 mg kg⁻¹ P₂O₅, según los tratamientos establecidos (Cuadro 9), lo que representa 1.3 y 2.6 g por maceta del fertilizante (Cuadro 10).

Cuadro 9: Descripción de los niveles de salinidad empleados y de las dosis de fertilización empleadas.

Tratamiento	Salinidad del agua dS.m ⁻¹	N P ₂ O ₅	
		mg.kg ⁻¹	
T1		0	0
T2	1.0	150	150
T3		300	300
T4		0	0
T5	2.3	150	150
T6		300	300
T7		0	0
T8	3.4	150	150
T9		300	300

g. Fertilización nitrogenada

Se aplicó nitrógeno utilizando Urea a dosis de 150 mg kg⁻¹ y 300 mg kg⁻¹ de N, según los tratamientos establecidos (Cuadro 9). Se utilizó 1.3 y 2.6 g por maceta del fertilizante (Cuadro 10).

La dosis de nitrógeno para los tratamientos T2, T3, T5, T6, T8, T9 se racionalizó en 6 aplicaciones, estas se dieron en los días 15, 35, 55, 75, 95 y 115 días después del trasplante (ddt) y se aplicaron en dilución con agua, esta distribución se aprecia en el cuadro 11.

Cuadro 10: Fertilización y cantidades empleadas por unidad experimental y mg.kg⁻¹

Fertilizante	N	P ₂ O ₅	g.maceta ⁻¹
	%		
Urea	46		1.30
			2.60
Superfosfato triple		46	1.30
			2.60

Cuadro 11: Dosis y distribución de las aplicaciones de nitrógeno en el ají jalapeño.

Tratamiento	Fertilizante	N mg.kg ⁻¹	ddt					
			15	35	55	75	95	115
T1	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	Urea	150	30	30	45	15	15	15
T3	Urea	300	60	60	90	30	30	30
T4	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	Urea	150	30	30	45	15	15	15
T6	Urea	300	60	60	90	30	30	30
T7	0	0	0	0	0	0	0	0
T8	Urea	150	30	30	45	15	15	15
T9	Urea	300	60	60	90	30	30	30

h. Cosecha

La cosecha de frutos se dio a partir del mes de junio y fue gradual considerando todos aquellos frutos que midieran de 3 cm a 4 cm para uniformizar. La cosecha de frutos comenzó el día 90 ddt y la del material vegetal se realizó el 28 de agosto del 2017 (190 ddt).

3.2.3 Parámetros en evaluación

a. En el cultivo indicador

Análisis biométricos:

Según Huez-Lopez et al. (2011), la metodología para determinar el peso seco de raíz, follaje y frutos es la siguiente:

Para hallar la materia seca de la parte aérea se realizó un corte desde la base de la planta, separando los órganos en hojas, tallos, frutos y raíces y limpiándolos con agua desionizada. Luego se secaron al aire y se colocaron en papel kraft para ser llevados a estufa a una temperatura de 70 °C por 48 horas hasta alcanzar un peso estable y posteriormente fueron pesadas en la balanza digital.

Análisis químicos:

Para el desarrollo de los análisis químicos se siguió el procedimiento para obtención de una muestra seca a estufa molida de tejido vegetal referido por Bazán (1996). La parte vegetativa fue molida en un molino eléctrico con tamiz de 2 mm; mientras que los frutos se molieron manualmente con mortero. Luego se procedió a realizar una mezcla entre el material molido del follaje y frutos de los mismos tratamientos para obtener una muestra compuesta y se guardaron en bolsas herméticamente cerradas, rotuladas por tratamiento y repetición.

Para determinar el nitrógeno total se procedió a seguir la metodología utilizada por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM. El método utilizado fue micro Kjeldahl, donde porciones de 0.1 gramos de materia seca fueron digeridas en 3 ml de ácido sulfúrico grado técnico dentro de un balón de destilación, posteriormente se agregó 1 gramo de catalizador (10 % de sulfato de cobre + 90 % de sulfato

de potasio). La digestión se realizó en una estufa con campana extractora, exponiendo las muestras a una temperatura aproximada de 400 °C para acelerar el proceso de digestión, este procedimiento demoró unas 4 horas hasta obtener muestras de color verde azulado claro. Después, se procedió a agregar agua destilada a las muestras para luego someterlas a destilación, en este proceso las muestras reaccionaron con vapor de agua e hidróxido de sodio al 50 %, provocando una reacción que liberó amoníaco. El amoníaco liberado fue recibido en un matraz Erlenmeyer conteniendo 20 ml de ácido bórico al 0.02 N, este proceso demoró 4 minutos por muestra; posteriormente se determina el gasto de ácido sulfúrico a 0.02 N que se usa en la titulación. El porcentaje de nitrógeno fue hallado multiplicando el gasto de ácido sulfúrico 0.02 N por 0.28.

La determinación de fósforo, potasio y sodio requirió la preparación de extractos foliares. Los análisis se realizaron según una adaptación a la metodología expuesta por Bazán (1996). Se pesó 0.5 g de material vegetal seco y se colocó en matraces Erlenmeyer de 125 ml para su digestión vía húmeda, luego se agregó 8 ml de una mezcla 5:1 de ácido nítrico y perclórico concentrado y se colocaron en una plancha eléctrica calibrada a 170 °C hasta alcanzar un color claro. Finalmente, se filtraron las muestras y se colocaron en frascos plásticos para su posterior análisis.

- Fósforo: Se extrajo 1 ml de alícuota del extracto, se mezcló con 17 ml de agua desionizada, 0.8 ml de solución sulfo-molíbdica y 0.8 ml de agente reductor, posteriormente se realizó el análisis colorimétrico en espectrofotómetro UV.
- Potasio y sodio: Se extrajo 1 ml de alícuota del extracto, agregando 9 ml de cloruro de lantano y agua desionizada. Las soluciones fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica.

La determinación de cloro se realizó por titulación. Se pesó 1 g de muestra seca de follaje, diluyéndola en 50 ml de agua, se filtró la muestra y se tomaron 20 ml de alícuota. Para determinar el contenido de cloro, las muestras filtradas se titularon con nitrato de plata (AgNO_3) en presencia de indicador cromato de potasio (K_2CrO_4).

b. En el sustrato experimental

Se siguió la metodología utilizada por Moya (2012), donde porciones de 100 gramos de sustrato fueron extraídas de cada maceta previa homogenización; se procedió a dejar secar al sol en vasos plásticos y se midió pH y conductividad eléctrica final.

- El pH fue determinado con el método del potenciómetro en una suspensión del suelo en agua en relación 1:1. Se usaron 30 gramos de suelo y 30 ml de agua destilada, los cuales se batieron por 20 minutos para alcanzar una mezcla idónea; luego de reposar 10 minutos, se volvió a batir por 1 minuto cada muestra para su posterior medición.
- La conductividad eléctrica final fue determinada en una suspensión de suelo en agua en relación 1:1. Se usaron 30 gramos de suelo y 30 ml de agua destilada, los cuales se batieron por 20 minutos para alcanzar una mezcla idónea; luego de reposar 10 minutos, se volvió a batir por 1 minuto cada muestra para su posterior medición.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PESO SECO DEL FOLLAJE

Los valores obtenidos al evaluar el peso seco la parte aérea vegetativa del ají (tallo y hojas) presentan diferencias estadísticas muy significativas para los efectos de la salinidad del agua de riego, dosis de fertilización e interacción de los factores (Cuadro 12).

Para el factor salinidad de agua (Figura 1), el incremento de la concentración salina reduce la producción de biomasa foliar. Los tratamientos regados con agua de $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y $2.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ registran los mayores valores en peso seco de follaje y el tratamiento con agua de $3.4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, el menor. Moya (2012), en un ensayo similar usando maíz como cultivo indicador, pudo observar el efecto perjudicial de las sales en el tratamiento regado con agua de $3.4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ sobre la producción de biomasa, encontrando una interacción negativa. Autores como Greenway y Munns (1980) y Grattan y Grieve (1994) afirman que los efectos inhibidores de la salinidad sobre el crecimiento y rendimiento de la planta son causados por la falta de agua potencialmente disponible alrededor de la raíz y por la acumulación de iones en los tejidos de la planta en concentraciones que pueden ser tóxicas o proporcionar desequilibrios nutricionales en el cultivo.

En cuanto a los niveles de fertilización (Figura 2), se observa que las mayores dosis de nutrientes favorecen la formación de la biomasa del follaje. Los tratamientos fertilizados con las dosis de 300-300-0 y 0-0-0 obtuvieron una mayor y menor producción de biomasa foliar, respectivamente. Estos resultados muestran una respuesta positiva a la fertilización nitrofosfatada, Halvin et al. (2005) afirma que un factor importante que limita el desarrollo de las plantas es la deficiencia de nitrógeno, seguida por la de fósforo.

Asimismo, el nitrógeno es indispensable para numerosos compuestos orgánicos de importancia como aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos relacionados a la producción de biomasa; mientras que el fósforo cumple el rol de la formación de enlaces pirofosfato que permiten la transferencia de energía para distintos procesos metabólicos.

El mayor peso seco de follaje se obtuvo con el tratamiento de agua de menor salinidad (1.0 dS.m⁻¹) y la mayor dosis de fertilización (300-300-0). Se observa un comportamiento similar en los tratamientos regados con agua de 1.0 dS.m⁻¹ y 2.3 dS.m⁻¹ fertilizados con dosis 150-150-0 y 300-300-0, respectivamente. Por otro lado, los tratamientos más afectados fueron aquellos regados con el agua más salina (3.4 dS.m⁻¹) con o sin fertilización. Bernstein et al. (1974) propone una posible relación entre fertilización y salinidad en suelos pobres a nivel nutricional, donde la tolerancia a las sales puede ser incrementada por una correcta fertilización.

Cuadro 12: Efecto los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitrofosfatada en el peso seco del follaje del ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Peso seco follaje g.planta ⁻¹
1.0	0-0-0	1.79 c
	150-150-0	4.49 ab
	300-300-0	4.94 a
2.3	0-0-0	1.98 c
	150-150-0	3.69 b
	300-300-0	3.98 ab
3.4	0-0-0	1.18 c
	150-150-0	1.32 c
	300-300-0	1.39 c
CV (%)		15.19
Salinidad del agua		**
Fertilización		**
Interacción		**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

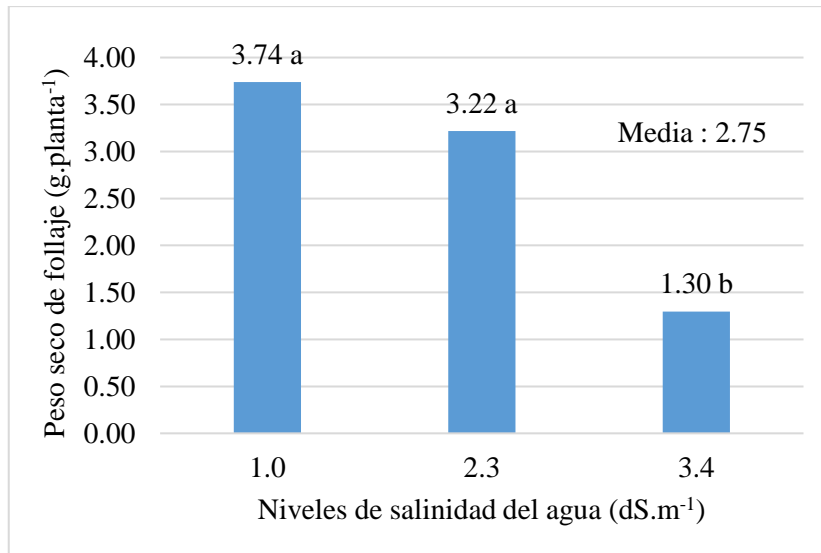


Figura 1: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco del follaje del ají Jalapeño.

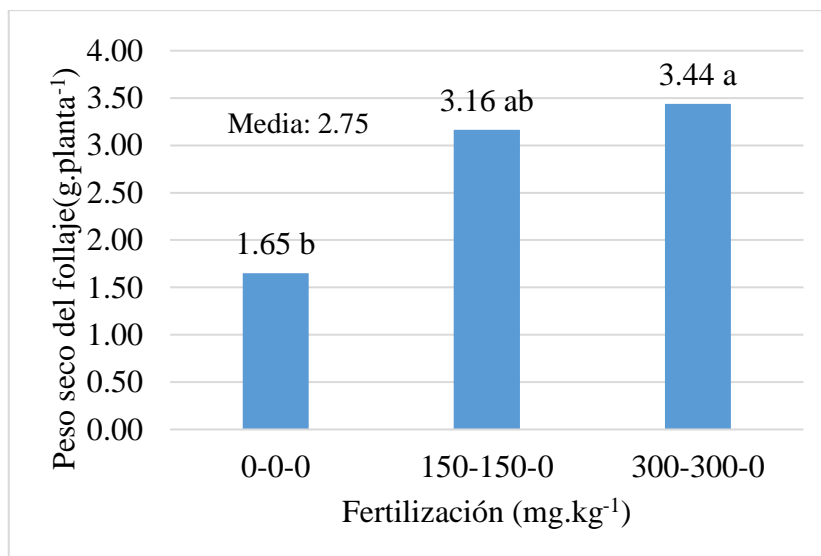


Figura 2: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco del follaje del ají Jalapeño.

4.2 PESO SECO RADICULAR

El análisis estadístico indica que existen diferencias muy significativas para los efectos de la salinidad del agua de riego, dosis de fertilización y la interacción de los factores (Cuadro 13).

En cuanto a calidad de agua (Figura 3), se registra un comportamiento semejante a lo observado en la variable peso seco foliar. La salinidad disminuye el peso seco radicular; obteniéndose la mayor biomasa radicular al regar con agua de 1.0 dS.m⁻¹ y la menor con agua de 3.4 dS.m⁻¹. Las referencias indican que a 8.0 dS.m⁻¹ de conductividad eléctrica, provocada por agregar NaCl en una solución salina a la cual se expuso todo el sistema radicular del ají, resultó en una remarcada supresión del área foliar, del peso seco del tallo y de la raíz bajo sistema hidropónico (Lycoskoufis, et. al., 2005).

Por otro lado, al evaluar los niveles de fertilización (Figura 4), la dosis media (150-150-0) incrementa la producción de materia seca radicular; mientras que un mayor aporte de nutrientes, como la dosis alta de fertilización (300-300-0) y la ausencia de fertilización (0-0-0), la reducen. Asimismo, Costa et al. (2002) en un estudio de fertilización con NH₄NO₃, a dosis de 0, 127.5, y 255 kg N ha⁻¹, encontró que el área radicular y la longitud de raíz del cultivo de maíz se incrementaron a niveles intermedios de fertilización nitrogenada; sin embargo, se redujo a niveles elevados y bajos. Por otro lado, el fósforo es fundamental para la ramificación de las raíces (Epstein y Bloom, 2004) y su deficiencia perjudica su desarrollo.

Cuadro 13: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro- fosfatada en el peso seco de raíz del ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Peso seco de raíz g.planta ⁻¹
1.0	0-0-0	2.78 cd
	150-150-0	7.54 a
	300-300-0	5.52 b
2.3	0-0-0	1.67 e
	150-150-0	5.61 b
	300-300-0	3.52 c
3.4	0-0-0	1.62 e
	150-150-0	2.11 de
	300-300-0	2.29 de
	CV (%)	10.27
	Salinidad del agua	**
	Fertilización	**
	Interacción	**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3. Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

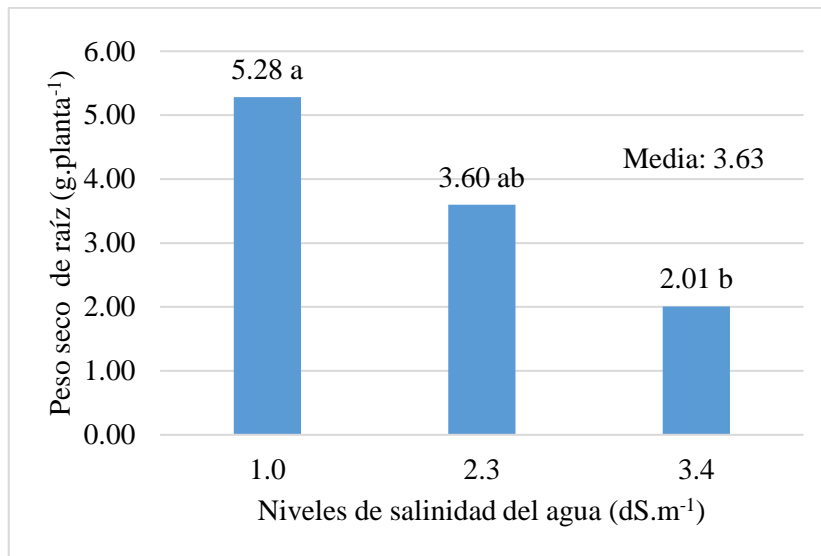


Figura 3: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco de raíz del ají Jalapeño.

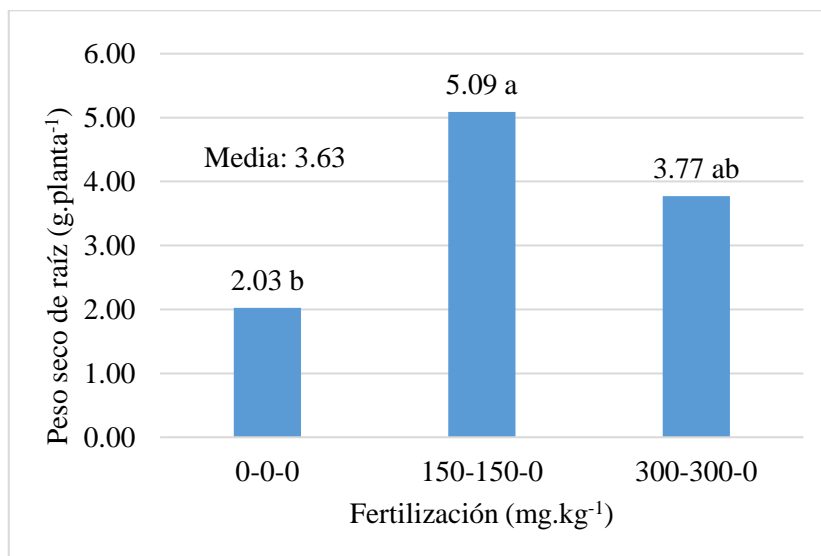


Figura 4: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco de raíz del ají Jalapeño.

4.3 PESO SECO DE LOS FRUTOS

Las pruebas estadísticas indican que existen diferencias significativas para los efectos de la salinidad del agua de riego y la dosis de fertilización; es no significativo para la interacción de los factores (Cuadro 14).

Respecto a calidad de agua de riego (Figura 5), el incremento de la salinidad reduce el rendimiento del ají Jalapeño. La productividad del cultivo se vio favorecida por el riego con agua de 1.0 y 2.3 dS.m⁻¹; considerando su media, la producción se incrementa en 20 % y 3.3 %, respectivamente. Por otra parte, regar con agua de 3.4 dS.m⁻¹ redujo la producción de frutos en un 22.2 %. En la experiencia reportada por Duygu et al. (2014), el rendimiento de *Capsicum* disminuyó al usar aguas de riego que sobrepasaron los 3.4 dS.m⁻¹ con dosis de fertilización nitrogenada de 135 kg.ha⁻¹ y 270 kg.ha⁻¹.

La dosis media de fertilización (150-150-0) incrementó la producción de frutos en un 28.6 % respecto a su media y la dosis alta (300-300-0) la perjudicó con una reducción del 15.4 %, tendiendo a producir incluso menos que cuando no se fertiliza; a pesar de ello, la dosis de 300-300-0 favoreció el desarrollo vegetativo del ají Jalapeño. Por otro lado, el tratamiento sin fertilización disminuyó el rendimiento en 12.1 % (Figura 6), demostrando así que el equilibrio nutricional es importante para una correcta producción. Según Mengel y Kirkby (2001), para un crecimiento óptimo de la planta debe existir un balance entre la tasa de producción de fotosintatos y la tasa de asimilación de nitrógeno; por lo que, bajo condiciones de alta actividad fotosintética y luminosidad, temperatura óptima y ausencia de estrés hídrico, el nivel nutricional debe ser alto y viceversa. El nivel de nutrición nitrogenada durante el periodo vegetativo debe balancearse con otros nutrientes en cantidades adecuadas, ya que, la síntesis de diversos compuestos orgánicos nitrogenados depende de otros iones inorgánicos como magnesio (clorofila) y fosfatos (ácidos nucleicos); asimismo, la asimilación de nitratos es influenciado por el potasio en la planta, un elemento clave en el transloque de fotosintatos a los frutos (Rodríguez, 1996, citado por Morales, 2017), por lo que se atribuye a la ausencia de fertilización potásica, el lento llenado de frutos en el desarrollo del experimento.

A pesar de no presentar diferencias estadísticas, el mayor rendimiento se registró en el tratamiento que se regó con agua de 1.0 dS.m⁻¹. Además, es preciso resaltar que el tratamiento sin fertilizar y regado con el agua más salina no presentó frutos que estuvieran

en el rango de cosecha de entre 3 a 4 cm, sino que eran abortados al entrar a cuajado; este desequilibrio puede ser atribuido al efecto de la salinidad sobre la disponibilidad de nutrientes, absorción competitiva y transporte dentro de la planta (Grattan y Grieve, 1994). De acuerdo a Bosland (2012), la caída de flores y frutos inmaduros es causada por una variedad de condiciones, como estrés por calor, agua insuficiente y exceso o deficiencia de nutrientes; mientras que Turner y Wien (1994), informaron que distintos cultivares difieren en la cantidad de flores caídas debido a factores genéticos.

Cuadro 14: Efecto los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en el peso seco de fruto del ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Peso seco fruto g.planta ⁻¹
	0-0-0	0.82
1.0	150-150-0	1.43
	300-300-0	0.98
2.3	0-0-0	0.79
	150-150-0	1.13
	300-300-0	0.88
3.4	0-0-0	Sin datos
	150-150-0	0.93
	300-300-0	0.46
	CV (%)	14.42
	Salinidad del agua	**
	Fertilización	**
	Interacción	ns

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a $P < 0.05$, $n = 3$. Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

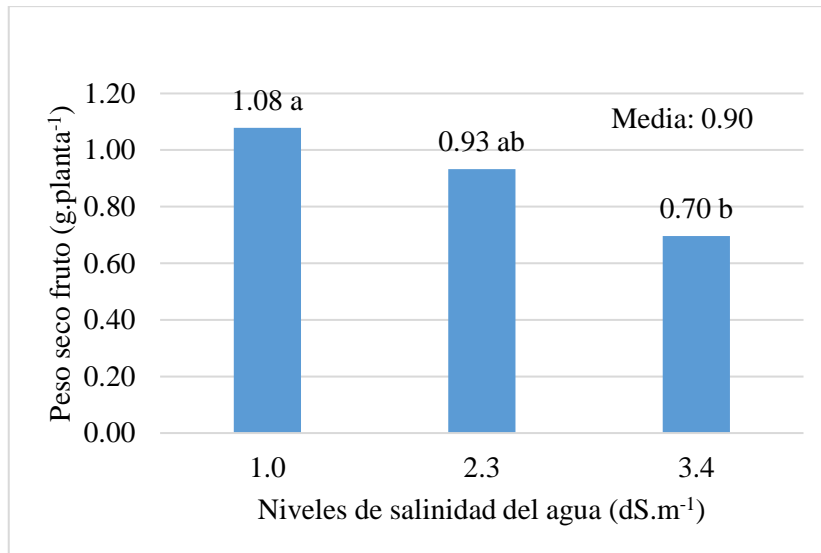


Figura 5: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco de fruto del ají Jalapeño.

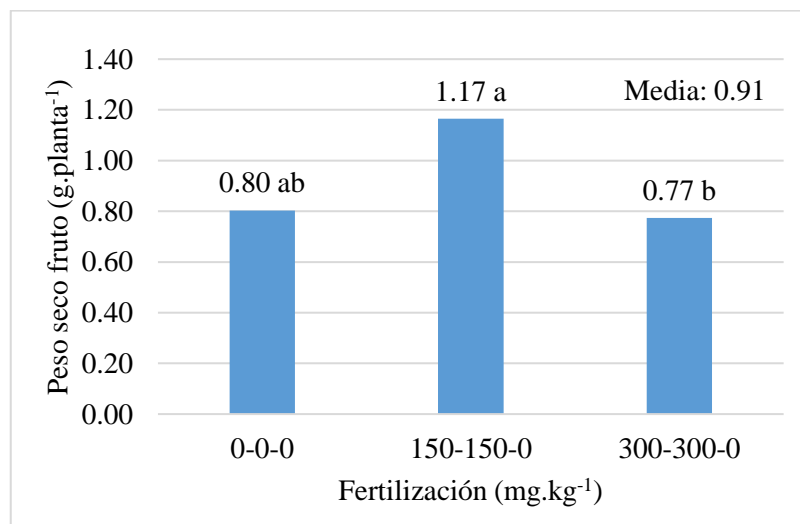


Figura 6: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco de fruto del ají Jalapeño

4.4 PESO SECO TOTAL DE PLANTA

Las variables en estudio y su interacción presentan diferencias estadísticas muy significativas (Cuadro 15).

El peso seco total de planta (peso seco foliar + peso seco radicular + peso seco del fruto) registra el mismo comportamiento que la variable rendimiento del ají Jalapeño. La mayor biomasa se obtuvo al regar con agua de menor concentración salina (Figura 7) y dosis media de fertilización (Figura 8). La menor producción se observó al usar agua de alto contenido de sales y al no aplicar fertilización, lo que permite apreciar claramente el impacto negativo de la salinidad, la cual limitó el crecimiento y desarrollo del cultivo, condición acentuada por la carencia de nutrientes.

Cuadro 15: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro- fosfatada en el peso seco total del ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Peso seco total g.maceta ⁻¹
1.0	0-0-0	5.39 d
	150-150-0	13.46 a
	300-300-0	11.44 b
2.3	0-0-0	4.44 de
	150-150-0	10.43 b
	300-300-0	8.38 c
3.4	0-0-0	2.80 e
	150-150-0	4.36de
	300-300-0	4.135 de
	CV (%)	9.60
	Salinidad de agua	**
	Fertilización	**
	Interacción	**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

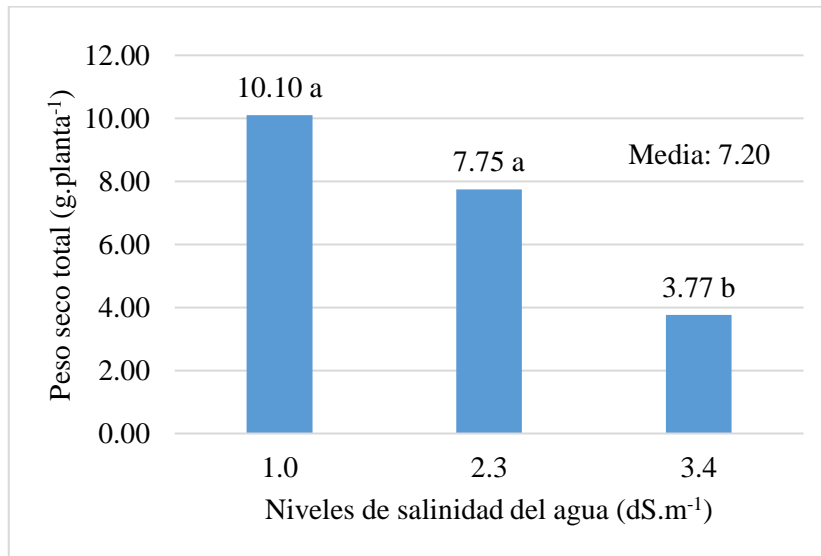


Figura 7: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sobre el peso seco total del ají Jalapeño.

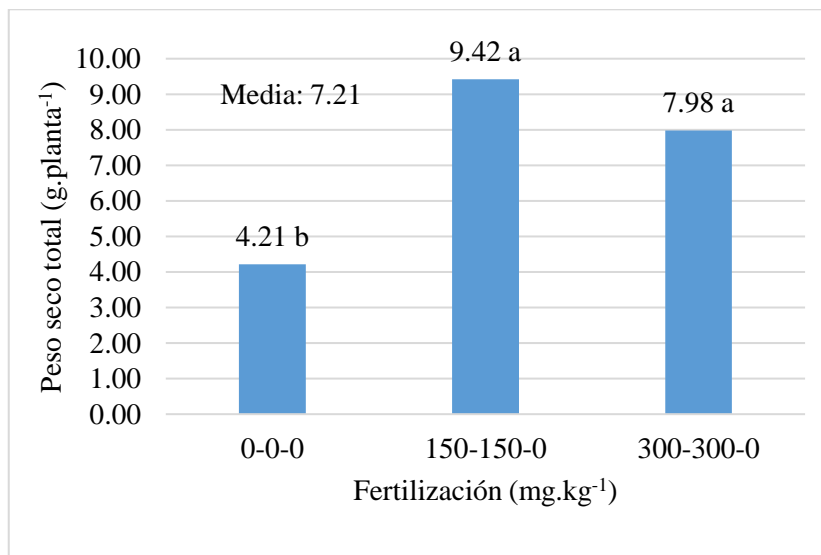


Figura 8: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre el peso seco total del ají Jalapeño.

4.5 EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO

De acuerdo a los resultados, en la extracción de nitrógeno existe evidencia estadística de diferencias muy significativas para los efectos de la salinidad del agua, dosis de fertilización y la interacción de los factores (Cuadro 16).

Los tratamientos regados con agua de 1.0 y 2.3 dS.m⁻¹ presentan una mayor extracción de nitrógeno, siendo estadísticamente superiores a los valores obtenidos por plantas regadas con agua de 3.4 dS.m⁻¹ (Figura 9). El incremento del contenido de sales en el agua de riego reduce el contenido de nitrógeno en la planta, puesto que hay menor producción de biomasa y se produce un desbalance de nutrientes. Asimismo, el efecto negativo del aumento de la conductividad eléctrica en el agua de riego y el decrecimiento de la concentración de nitrógeno foliar responde a un comportamiento ampliamente conocido como competencia iónica, donde la asimilación de nitrógeno nítrico N-NO₃⁻ es reducido por la presencia de aniones como el Cl⁻ (Khan y Srivastava, 1998).

Los tratamientos fertilizados son estadísticamente superiores en comparación con los que no recibieron fertilización nitro-fosfatada (Figura 10), debido a la mayor disponibilidad del nutriente, que es utilizado por la planta con mayor eficiencia a la dosis 150-150-0. Como se sabe, el nitrógeno es el componente estructural de numerosos compuestos biológicos, participando en síntesis de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos (Mengel y Kirkby, 2001) y fomentando el crecimiento de las plantas de ají.

Los tratamientos fertilizados con dosis media y alta y regados con agua de 1.0 dS.m⁻¹ reportan la mayor extracción de nitrógeno; por el contrario, los tratamientos con y sin fertilización regados con agua de 3.4 dS.m⁻¹ registran el menor contenido de este elemento. La fertilización aumenta la concentración de nitrógeno; pero, su absorción, metabolismo y asimilación, la formación de aminoácidos y la biosíntesis de proteínas serán afectados por el estrés salino generado por su creciente aporte (Dluzniewska et al., 2006; Ehling et al., 2007).

Cuadro 16: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de nitrógeno en el ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Nitrógeno	
		%	mg.planta ⁻¹
1.0 dS.m ⁻¹	0-0-0	1.7 b	48.91 b
	150-150-0	3.5 a	210.68 a
	300-300-0	3.3 a	197.00 a
2.3 dS.m ⁻¹	0-0-0	1.6 b	46.32 c
	150-150-0	2.9 a	144.15 b
	300-300-0	3.0 a	145.51 b
3.4 dS.m ⁻¹	0-0-0	1.7 b	19.70 c
	150-150-0	1.9 b	44.13 c
	300-300-0	2.6 a	54.09 c
CV (%)		10.09	16.79
Calidad de agua		**	**
Fertilización		**	**
Interacción		**	**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a $P < 0.05$, $n = 3$

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

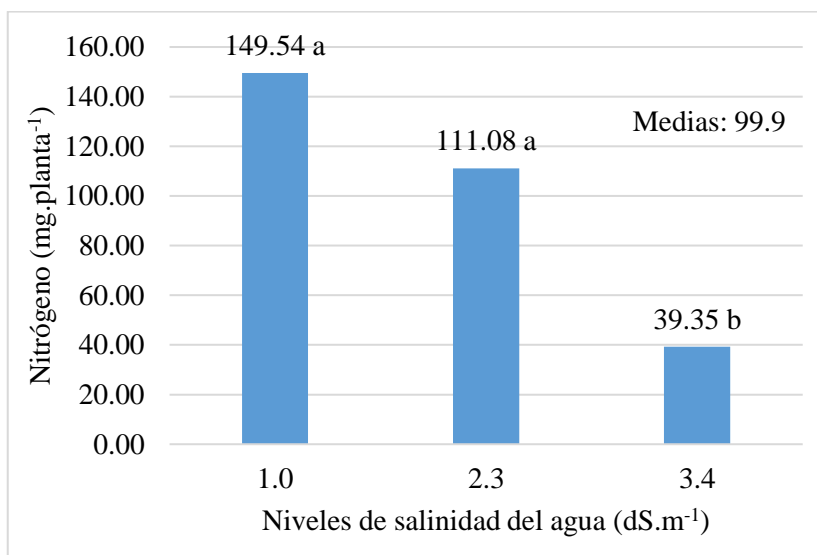


Figura 9: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de nitrógeno del ají Jalapeño.

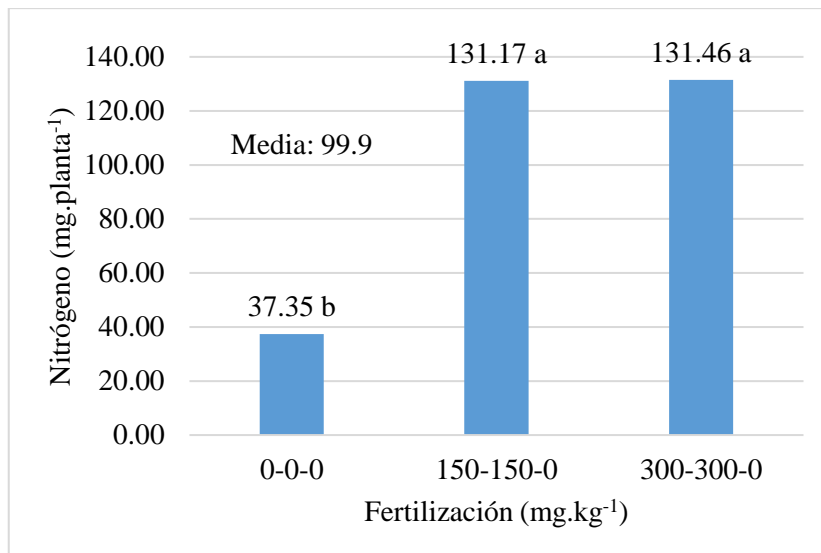


Figura 10: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de nitrógeno del ají Jalapeño.

4.6 EXTRACCIÓN DE FÓSFORO

Las medias de los valores obtenidos al evaluar la extracción de fósforo, evidencian diferencias estadísticas muy significativas para los efectos de la salinidad del agua, dosis de fertilización y la interacción de los factores (Cuadro 17).

Los tratamientos regados con agua de 1.0 y 2.3 dS.m⁻¹ demostraron ser superiores en extracción de fósforo al regado con el agua de 3.4 dS.m⁻¹ (Figura 11). Sharpley et al. (1992) manifiesta que en la mayoría de estudios realizados, la salinidad reduce la concentración de fósforo en el tejido vegetal; mientras que otros autores no reportan influencia alguna.

La respuesta de los tratamientos que recibieron fertilización nitro-fosfatada a dosis 300-300-0 resultó estadísticamente superior al tratamiento sin fertilizar, debido a la mayor disponibilidad del nutriente (Figura 12). Además, la deficiencia de fósforo reduce la tasa fotosintética, la conductancia estomática y la concentración interna de CO₂ del ají; en consecuencia, merma la formación de materia seca del cultivo (Davies et al., 1999) y por ende, la cantidad de fósforo extraído.

Como se observó en la extracción de nitrógeno, la salinidad disminuye la cantidad de fósforo en la planta porque reduce su eficiencia de absorción; mientras que el aporte nutritivo a través de la fertilización aumenta su contenido. El tratamiento con agua de 1.0 dS.m⁻¹ y fertilizado con 300-300-0 exhibe la mayor extracción de fósforo; en contraste, los menores

contenidos de fósforo se encontraron en los tratamientos con y sin fertilización regados con agua de 3.4 dS.m⁻¹, en las experiencias utilizando pepino y pimiento como cultivos indicadores, el fósforo amilanó el daño de estrés salino (Kaya et al., 2001).

Cuadro 17: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de fósforo en el ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Fósforo	
		%	mg.planta ⁻¹
1.0 dS.m ⁻¹	0-0-0	0.12	3.23 d
	150-150-0	0.16	9.51 ab
	300-300-0	0.19	11.25 a
2.3 dS.m ⁻¹	0-0-0	0.11	2.92 d
	150-150-0	0.14	6.59 c
	300-300-0	0.16	7.98 bc
3.4 dS.m ⁻¹	0-0-0	0.11	1.33 d
	150-150-0	0.12	2.76 d
	300-300-0	0.16	2.99 d
CV (%)		12.91	18.84
Calidad de agua		*	**
Fertilización		**	**
Interacción		ns	**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

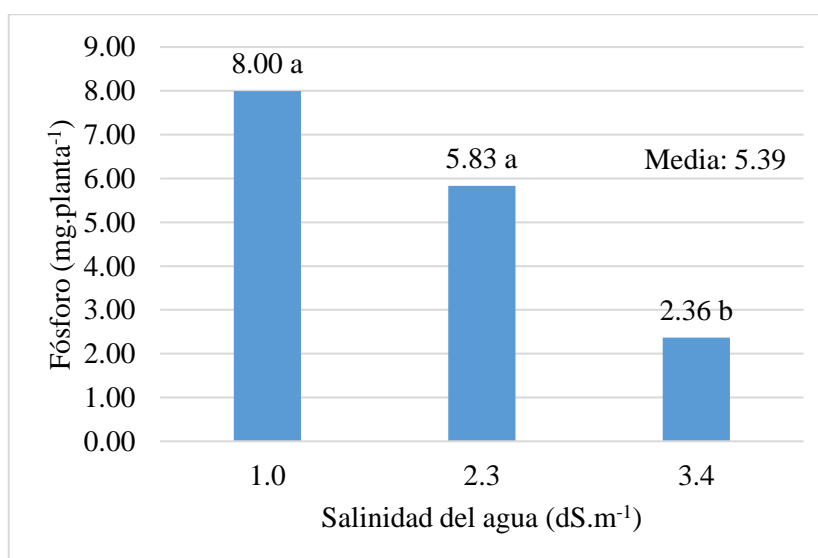


Figura 11: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de fósforo del ají Jalapeño.

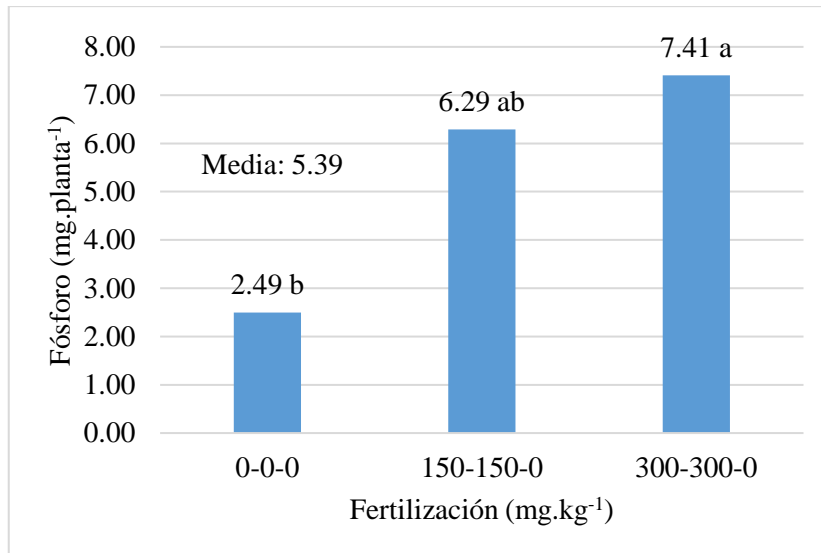


Figura 12: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de fósforo del ají Jalapeño.

4.7 EXTRACCIÓN DE POTASIO

Los resultados muestran que hay diferencias estadísticas significativas para los efectos de la salinidad del agua, dosis de fertilización y la interacción de los factores (Cuadro 18).

La mayor extracción de potasio se observó en los tratamientos regados con el agua de menor salinidad (Figura 13). Se obtuvo una menor extracción con el agua de 3.4 dS.m⁻¹, a pesar de que tenía una mayor concentración de potasio, se atribuye esta respuesta a la presencia de sodio. Se reporta un antagonismo iónico entre K⁺ y Na⁺; una característica de las plantas bajo estrés salino es el incremento de la concentración de Na⁺ en los tejidos y la reducción de la acumulación de K⁺ (Muuns, 2002; Tester y Davenport, 2003).

La respuesta de los tratamientos que recibieron fertilización nitro-fosfatada a dosis 300-300-0 resultó estadísticamente superior al tratamiento sin fertilizar (Figura 14), dado que la planta extrae más potasio para suplir sus requerimientos fisiológico. La extracción de potasio en los cultivos está relacionada a la nutrición nitrogenada, puesto que el nitrógeno es usado para el suministro de potasio. El potasio actúa como regulador del crecimiento cuando la disponibilidad de nitrógeno es alta y garantiza adecuado rendimiento de los cultivos (Colombo y Obregón, 2008, citados por Morales, 2017).

Al igual que para el nitrógeno y el fósforo, la salinidad reduce la extracción de potasio por la planta y la fertilización la favorece al incrementar su contenido en la planta.

El tratamiento con más potasio extraído fue el que se le regó con agua de 1.0 dS.m⁻¹ y fertilizó con dosis alta (300-300-0); contrariamente, los tratamientos sin fertilización y aquellos fertilizados que recibieron riego con agua de 3.4 dS.m⁻¹ presentan los menores contenidos de potasio. Aktas et al. (2003) no encontró diferencias en el contenido de potasio foliar en plantas de Capsicum que crecieron con salinidades de hasta 7.5 dS.m⁻¹. Sin embargo, Gómez et al. (1996) reportó que en hojas de plantas estresadas por sales y fertilizadas con 2 meq.l⁻¹ de nitrógeno se redujo el nivel de potasio; pero, con aplicaciones de 15 meq.l⁻¹ de nitrógeno se incrementó la concentración de este nutriente bajo las mismas condiciones de salinidad. Asimismo, Günes et al. (1996) encontró que el contenido de potasio en brotes de pimiento dulce fue reducido significativamente por salinidades entre 2.1 a 9.5 dS.m⁻¹.

Cuadro 18: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de potasio en el ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Potasio	
		%	mg.planta ⁻¹
1.0	0-0-0	1.57	41.01 cd
	150-150-0	2.08	122.2 b
	300-300-0	2.85	169.6 a
2.3	0-0-0	1.32	35.62 d
	150-150-0	1.58	74.16 c
	300-300-0	2.35	112.2 b
3.4	0-0-0	1.52	17.98 d
	150-150-0	1.21	27.29 d
	300-300-0	2.40	44.07 cd
	CV (%)	17.18	16.49
	Calidad de agua	*	**
	Fertilización	**	**
	Interacción	ns	**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

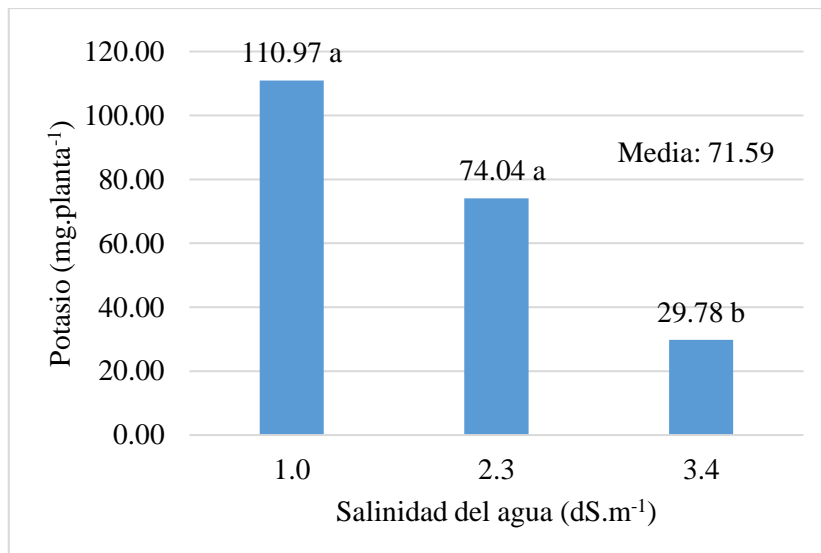


Figura 13: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de potasio del ají Jalapeño.

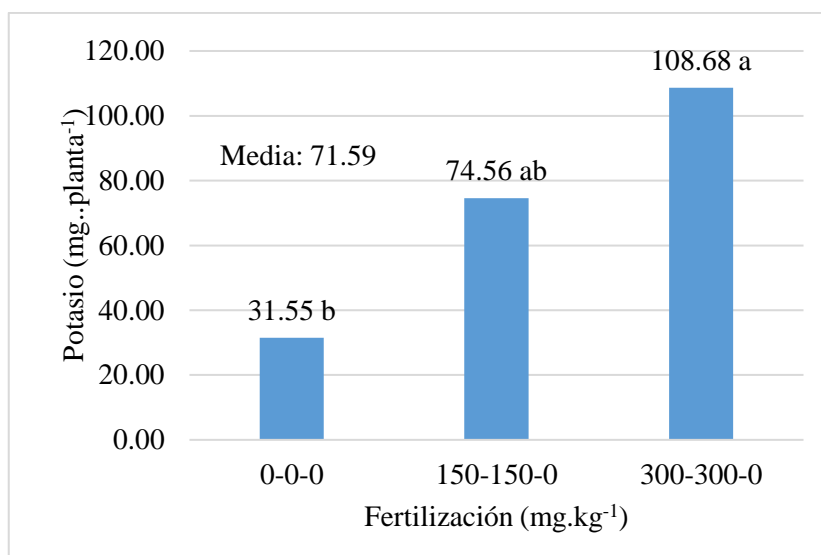


Figura 14: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de potasio del ají Jalapeño.

4.8 EXTRACCIÓN DE CLORO

Estadísticamente, existen diferencias significativas para los efectos de la salinidad del agua de riego y la dosis de fertilización y es no significativo para la interacción de los factores (Cuadro 19).

La mayor extracción de cloro ocurrió en los tratamientos regados con agua de 2.3 dS.m⁻¹ (Figura 15). Un mayor desarrollo de biomasa, como en los tratamientos con agua de 1dS.m⁻¹, extrajo mayor cantidad de cloro, aunque al determinar la concentración de cloro, los tratamientos regados con el agua más salina resultaron superiores. Chartzoulakis y Klapaki (2000) sugieren que los *Capsicum* tienen la capacidad de limitar la toma y transporte de Cl⁻ y Na⁺ de las raíces a las partes aéreas; sin embargo, Marschner (2012) afirma un incremento de absorción de Cl⁻ al incrementarse la salinidad en plantas sensibles.

En los resultados se puede apreciar que los tratamientos perjudicados por el agua más salina presentaron concentraciones superiores a 1 %. La toxicidad por cloruros se da a concentraciones de 0.4 a 0.7 %; mientras que para Reisenauer et al. (1973), la reducción en producción y calidad del cultivo está asociada a niveles de concentración de cloro en tejidos, de 0.5 a 2.0 % respecto a la materia seca para cultivos sensibles y mayores del 4 % en especies tolerantes.

Al evaluar niveles de fertilización, los tratamientos de 150-150-0 y 300-300-0 fueron estadísticamente similares y superiores a los que no se fertilizaron (Figura 16), favoreciendo el desarrollo de biomasa más no limitando la extracción de cloro. Existe evidencia del efecto positivo de la aplicación de nitrato frente a la presencia de cloruros en el sustrato debido a su la competencia iónica (Grattan y Grieve 1994). Asimismo, se reporta que la fertilización con NO₃⁻ disminuyó la concentración de Cl⁻ en las hojas de un cultivo de *Pisum sativum* estresado con sales (Deane-Drummond, 1986).

En cuanto a calidad de agua de riego y fertilización, el incremento de la salinidad del agua y de las dosis de fertilización, aumentan el aporte de cloruros para la planta, lo que se refleja en una mayor acumulación de cloro en el tejido debido a su mayor absorción. Aunque no existe diferencia estadística en la interacción de los factores, el tratamiento que recibió riego con agua de 2.3 dS.m⁻¹ y dosis alta de fertilización absorbió la mayor cantidad de cloro y el tratamiento sin fertilizar regado con agua de 1.0 dS.m⁻¹ muestra la menor acumulación de cloro en la planta. Bernstein et al. (1974) propone una posible relación entre fertilización y salinidad en suelos pobres a nivel nutricional, donde la tolerancia a las sales puede ser incrementada por una correcta fertilización.

Cuadro 19: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de cloro en el ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Cloro	
		%	mg.planta ⁻¹
1.0	0-0-0	0.46	12.09
	150-150-0	0.38	22.40
	300-300-0	0.35	20.93
2.3	0-0-0	0.74	20.47
	150-150-0	0.73	35.08
	300-300-0	0.82	39.25
3.4	0-0-0	1.47	17.45
	150-150-0	1.23	27.84
	300-300-0	1.33	24.67
CV (%)		14.83	13.76
Calidad de agua		**	**
Fertilización		ns	**
Interacción		ns	ns

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a $P < 0.05$, $n = 3$ Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns).

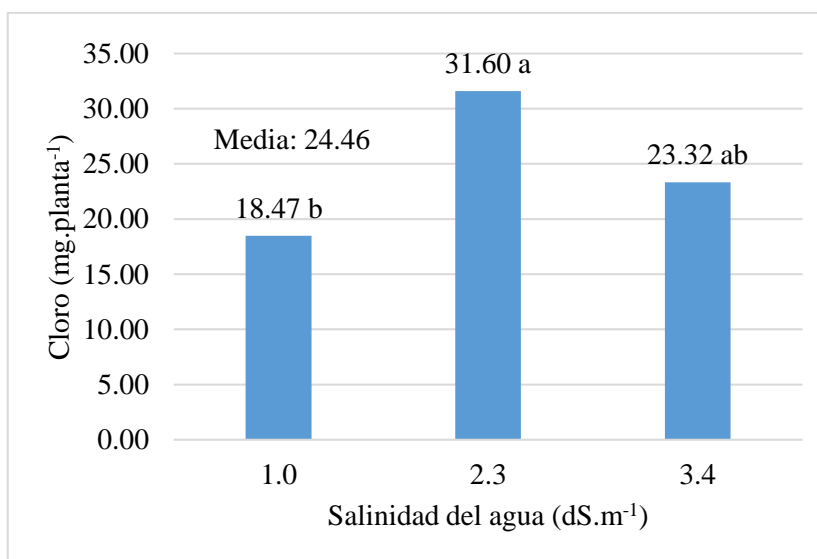


Figura 15: Efecto de los niveles la salinidad del agua de riego en la extracción de cloro del ají Jalapeño.

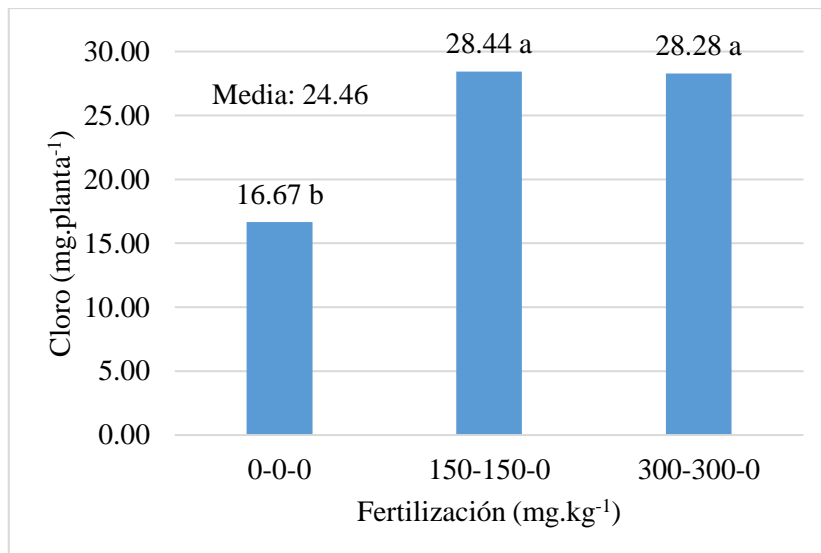


Figura 16: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de cloro del ají Jalapeño.

4.9 EXTRACCIÓN DE SODIO

Existe evidencia estadística para afirmar que las medias de los tratamientos están influenciadas por la salinidad del agua de riego, dosis de fertilización y la interacción de ambos factores (Cuadro 20).

La mayor extracción de sodio se observó en los tratamientos regados con el agua de mayor salinidad debido a su mayor contenido de sodio (Figura 17); mientras que la extracción más baja se obtuvo en el agua menos salina (1.0 dS.m⁻¹). Una característica importante de las plantas con estrés salino es la acumulación de Na⁺ y deterioro de la nutrición K⁺ (Cakmak, 1994). De igual forma, las plantas estresadas incrementan la concentración de Na⁺ en los tejidos, reduciendo la acumulación de K⁺ al establecerse un antagonismo iónico (Muuns, 2002; Tester y Davenport, 2003).

La respuesta de los tratamientos que recibieron fertilización nitro-fosfatada resultaron estadísticamente superiores al tratamiento sin fertilizar en la extracción de sodio (Figura 18). Un mayor crecimiento favorece a extraer mayores cantidades de este elemento. La literatura menciona que en el NH₄⁺ tiene competencia directa con el Na⁺, presentando un comportamiento antagónico (Hawkins y Lewis, 1993). No obstante, esto no se apreció en la

presente investigación; concordando con Duygu et. al (2014), quien encontró que el nivel de fertilización nitrogenada no es significativo en la concentración de sodio foliar.

La extracción de sodio presenta el mismo patrón de comportamiento que la extracción de cloruro, lo que evidencia que el agua de riego con 1.0 dS.m⁻¹ es el agua que menos perjudica a la producción del ají Jalapeño. Los tratamientos fertilizados son los que más sodio extraen debido al mayor desarrollo de biomasa en comparación al tratamiento sin fertilización. La exclusión de Na⁺ combinada con la capacidad de mantener relativamente una alta concentración de K⁺ en las hojas proporciona a las plantas de pimiento un mecanismo de éxito para la tolerancia a niveles bajos y moderados de salinidad. Asimismo, Günes et al. (1996) reportó un aumento en el contenido de Na⁺ en los brotes de las plantas de pimiento cuando la salinidad se incrementó de 2.1 a 9.5 dS m⁻¹.

Cuadro 20: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y de la fertilización nitro-fosfatada en la extracción de sodio en el ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Sodio	
		%	mg.planta ⁻¹
1.0	0-0-0	0.11 cd	2.86 d
	150-150-0	0.06 d	3.79 d
	300-300-0	0.07 d	4.14 d
2.3	0-0-0	0.18 bcd	4.95 d
	150-150-0	0.29 b	13.84 ab
	300-300-0	0.23 bc	11.36 bc
3.4	0-0-0	0.71 a	8.38 c
	150-150-0	0.74 a	16.74 a
	300-300-0	0.82 a	15.24 a
	CV (%)	13.15	13.12
	Calidad de agua	**	**
	Dosis fertilización	ns	**
	Interacción	*	**

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns).

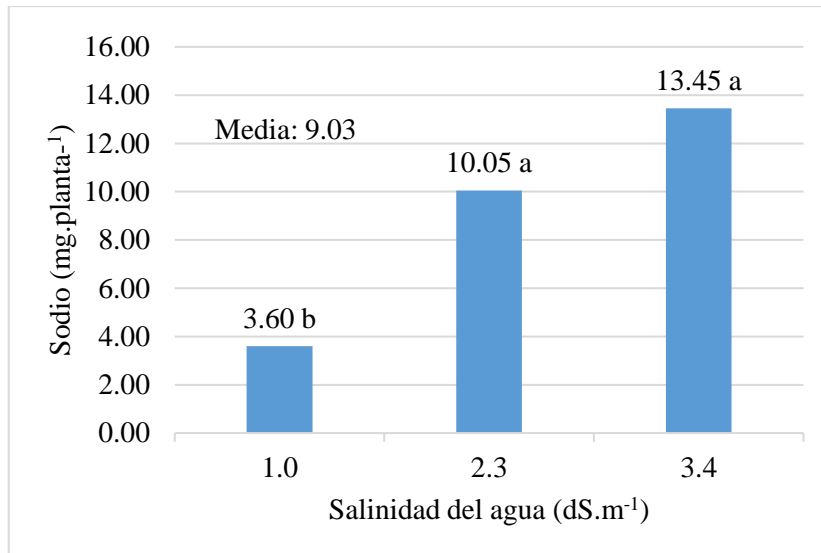


Figura 17: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la extracción de sodio del ají Jalapeño.

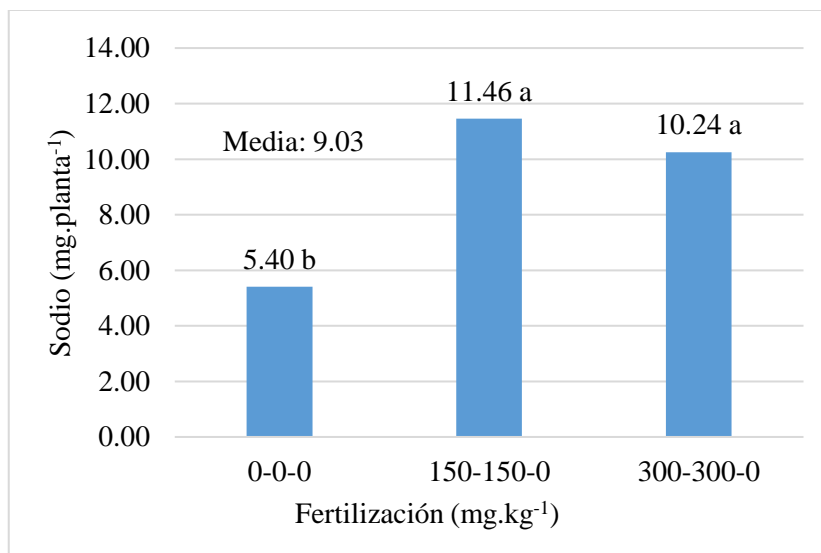


Figura 18: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada sobre la extracción de sodio del ají Jalapeño.

4.10 EN EL SUSTRATO EXPERIMENTAL

4.10.1 Conductividad eléctrica final (1:1)

En los resultados obtenidos, solo existen diferencias estadísticas significativas para los efectos de la salinidad del agua de riego (Cuadro 21).

Al evaluar el efecto de la salinidad del agua (Figura 19), se observa un incremento de la conductividad eléctrica del sustrato, siendo concordante con el nivel de salinidad del agua. Autores como Lorenz y Maynard (1980), estiman que suelos con conductividades eléctricas de extracto saturado de 2 dS.m⁻¹ producen un 10 % de pérdida en el rendimiento. Estas pérdidas ascienden al 25 % y 50 % para conductividades de 3 y 5 dS.m⁻¹, respectivamente; siendo estos resultados similares a las pérdidas obtenidas al evaluar rendimiento en este ensayo experimental. Cabe mencionar que no se realizó un riego pesado para lixiviar las sales aportadas a través del agua de riego y de los fertilizantes.

Las mayores dosis de fertilización tienden a incrementar el potencial osmótico en el suelo; pero, estadísticamente no hay diferencias en los tratamientos (Cuadro 20). De acuerdo con Tisdale (1993), el superfosfato triple y la úrea presentan baja tasa de salinización, por lo que el efecto de salinización del sustrato por los fertilizantes no se aprecia.

Cuadro 21: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y la fertilización nitrofosfatada en la conductividad eléctrica final del sustrato.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	Salinidad del sustrato dS.m ⁻¹
	0-0-0	1.63
1.0	150-150-0	1.77
	300-300-0	1.87
2.3	0-0-0	2.13
	150-150-0	2.18
	300-300-0	2.44
3.4	0-0-0	3.16
	150-150-0	3.30
	300-300-0	3.03
	CV (%)	10.94
	Salinidad del agua	**
	Fertilización	ns
	Interacción	ns

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

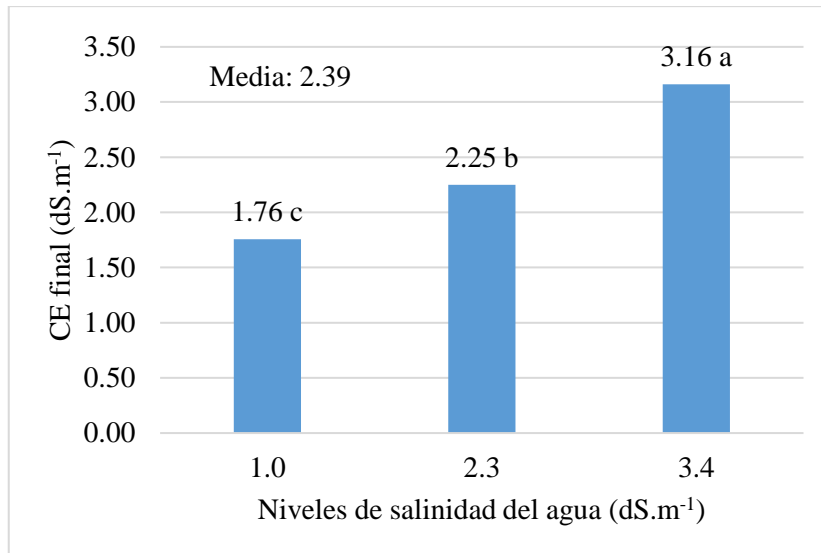


Figura 19: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en la conductividad eléctrica final (1:1) del sustrato.

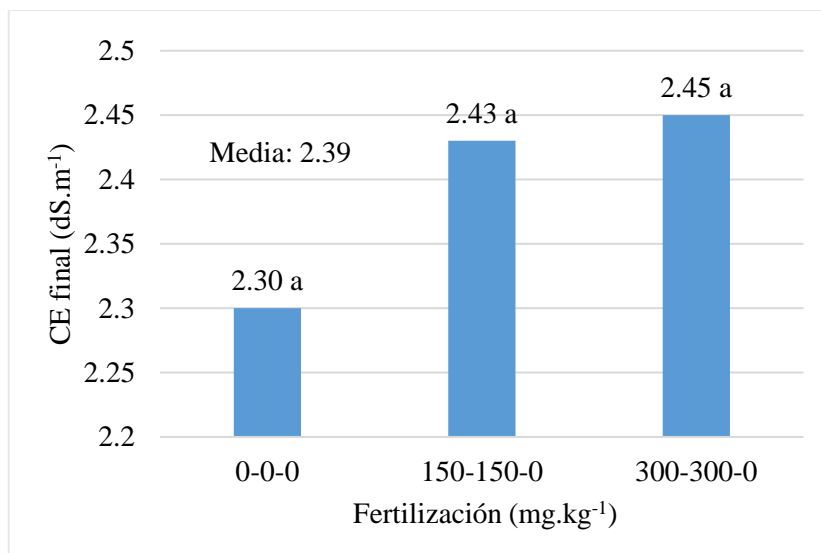


Figura 20: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada en la conductividad eléctrica final (1:1) del sustrato.

4.10.2 pH final

En la variable pH final, el análisis estadístico indica que hay diferencia significativa únicamente para el factor dosis de fertilización (Cuadro 22).

Al observar los resultados se aprecia que las calidades de agua no modificaron significativamente el pH final del suelo (Figura 21).

Respecto a dosis de fertilización, se observa que el incremento del aporte de nitrógeno y fósforo redujo el pH final del suelo (Figura 22). Este efecto se puede atribuir a la reacción ácida de la Urea, la cual posee un índice de acidez de 75 a 80 % (Tisdale, 1993).

El pH influye en la tasa de absorción de los cationes que tienden a ser más altas en el rango más neutro de pH; pero, en cultivos hidropónicos se prefieren el pH ligeramente ácido a las soluciones neutras o alcalinas, debido a la disponibilidad de mayor cantidad de nutrientes. Asimismo, niveles de pH muy bajos, < 3.0, dañan las membranas de las células que se vuelven más permeables; esto resulta en una pérdida de nutrientes, en particular de K⁺ (Murphy, 1959, citado por Mengel y Kirkby, 2001).

Cuadro 22: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego y la fertilización nitrofosfatada en el pH final del sustrato.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	pH
1.0	0-0-0	7.15
	150-150-0	6.48
	300-300-0	6.12
2.3	0-0-0	6.92
	150-150-0	6.40
	300-300-0	6.57
3.4	0-0-0	7.08
	150-150-0	6.54
	300-300-0	6.91
	CV (%)	5.57
	Salinidad del agua	ns
	Fertilización	**
	Interacción	ns

Las diferencias no significativas entre las medias fueron encontradas usando la prueba de Tukey a P<0.05, n= 3

Altamente significativo (**), Significativo (*), No significativo (ns)

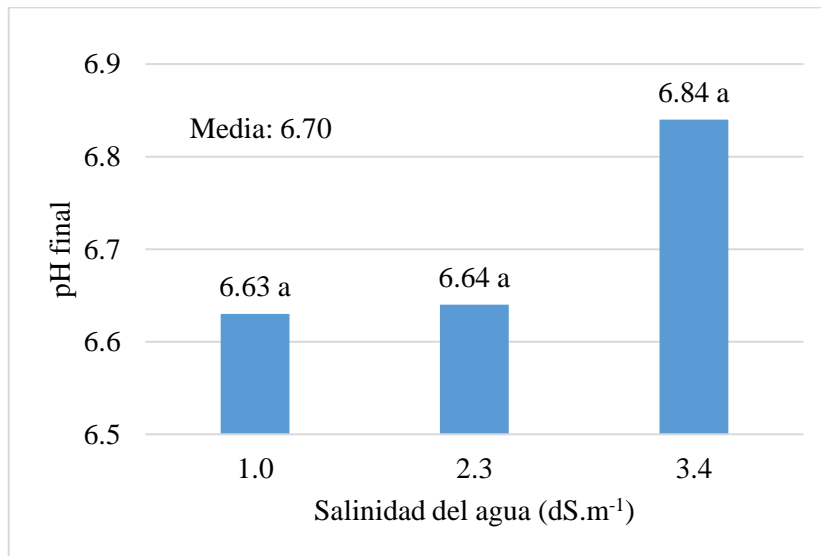


Figura 21: Efecto de los niveles de salinidad del agua de riego en el pH final (1:1) del sustrato.

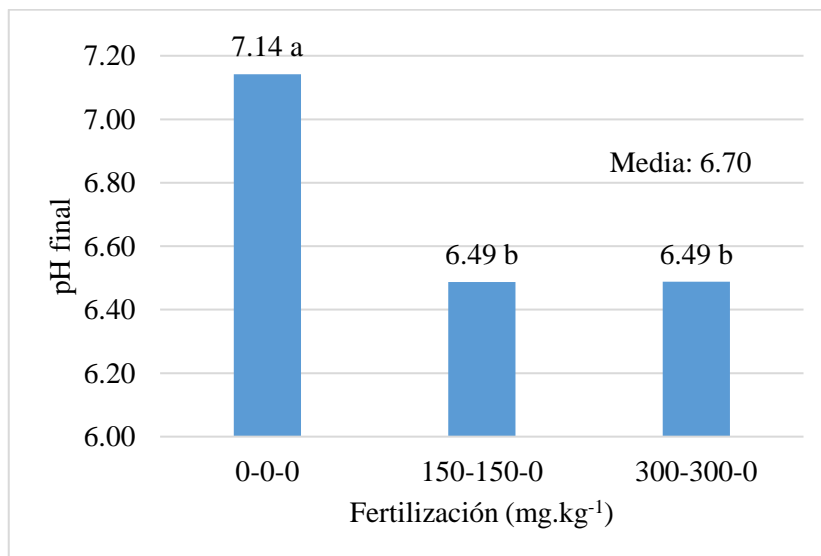


Figura 22: Efecto de la fertilización nitro-fosfatada en el pH final (1:1) del sustrato.

V. CONCLUSIONES

- El incremento de la salinidad en el agua de riego disminuyó el rendimiento, la producción de biomasa y la extracción de N, P, K en el cultivo de ají Jalapeño y aumentó el contenido de cloro y sodio en el tejido de la planta.
- El incremento de la fertilización favorece a la formación de biomasa e incrementa la extracción de nutrientes por la planta.
- Los tratamientos fertilizados con dosis media (150-150-0) presentan las mejores producciones bajo las diferentes calidades de agua.
- La aplicación de nitrógeno y fósforo no redujeron el contenido de cloro y sodio en la materia seca del ají Jalapeño.

VI. RECOMENDACIONES

- Efectuar más estudios con distintas dosis de fertilización con diferentes fertilizantes nitrogenados, fosfatados y que suministren otros nutrientes como potasio, magnesio, calcio, etc.
- Realizar la siembra del cultivo en una fecha más óptima, donde se den mayores temperaturas (24 a 30 °C); aumentar el número de repeticiones y utilizar contenedores de más volumen para garantizar un óptimo desarrollo radicular.
- Realizar estudios en condiciones reales de campo, bajo fertirrigación, donde factores como la lixiviación y la evapotranspiración tienen un efecto más notorio en el desarrollo del cultivo.
- Instalar nuevos ensayos con variedades de capsicum nativas, especialmente con el fin de lograr patrones tolerantes a la salinidad y toxicidad de iones específicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdelgadir, EM; Oka, M; Fujiyama, H. 2005. Nitrogen nutrition of rice plants under salinity. *Biol Plant* 49:99–104
2. Aducci, R.A. 2014. Cultivo de ají (*Capsicum annuum* L. cv. Mitla) en la selva central del Perú. Trabajo profesional Ing. Lima, Perú, UNALM.
3. Aducci, R; Borjas, R; Huanuqueño, H; Ladera, Y; Bello, S; Julca, A. 2014. Cultivo de ají jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cv. Mitla en la selva central del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
4. Ahmad, P; Rasool, S; Hameed, A; Azooz, MM; Muneeb-U-Rehman; Siddiqi, TO. 2013. Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants. *In*: Ahmad, P; Azooz, M; Prasad, M. 2013. *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. Springer, New York, NY.
5. Aktas, H; Karni, B; Bar-Tal, A. 2003. Physiological and biochemical mechanisms leading to blossom-end rot in greenhouse-grown peppers, irrigated with saline solution. (en línea). Consultado el 11 de mayo del 2018. *Acta Hort.* 609, 81-88. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.609.9. Disponible en: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.609.9>.
6. Alva, C; Alphen, J; Torre, A; Manrique, L. 1976. Problemas de drenaje y salinidad en la costa peruana. Países bajos: International institute for land reclamation and improvement.
7. Ayers, RS; Westcot, DW. 1985. Water quality for agricultura, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. © FAO (en línea). Consultado el 2 ago. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm>.
8. Bazán, R. 1996. Manual para el análisis químico de Suelos, Aguas y Plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.
9. Bernstein, L; Francois, LE; Clark, R A. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agronomy Journal* 66, pp. 412–421.

10. Bertsch, F. 2009. Absorción de nutrimentos por cultivos. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación costarricense de la ciencia del suelo.
11. Bosland, P; Votava, E. 2012. Peppers, vegetables and spice capsicums. Segunda edición. CABI.
12. Boyd, C. 2015. Water quality: An introduction. Second edition. (en línea). Consultado el 11 de setiembre del 2018. Disponible en Doi: 10.1007/978-3-319-17446-4
13. Brady, N; Weil, R. c2008. The Nature and Properties of Soil. 14 ed. Upper Sadle River, New Jersey, USA, Pearson Education. p. 411.
14. Braver, OH; Richardson, RW. 1957. El chile: Indicaciones generales para su cultivo. Folleto de divulgación no 23. México city: Sec of agrand livestock
15. Cakmak, I; Hengler, C. and Marschner, H. 1994. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium, and magnesium deficiency in bean plants. J. Exp. Bot. p. 45,1251-1257.
16. Chartzoulakis, K; Klapaki, G. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Sci Hort 86, 247-260 (en línea). Consultado el 12 de octubre del 2018. Disponible en doi: 10.1016/S0304-4238(00)00151-5
17. Costa, C; Dwyer, LM; Zhou, X; Dutilleul, P; Hamel, C; Reid, LM. 2002. Root morphology of contrasting maize genotypes. Agronomy Journal. pp 94(1):96–101.
18. Davies Jr, FT; Duray, S. A; Phavaphutanon; Stahl, R. S. 1999. Photosynthetica, 36(1/2), 99–106. (en línea). Consultado el 8 de octubre del 2018. Disponible en doi :10.1023/a:1007022904995.
19. Deane-Drummond CE. 1986. A comparison of regulatory effects of chloride on nitrate uptake, and of nitrate on chloride uptake into *Pisum sativum* seedlings. Physiol Plant pp 66:115–121
20. Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. InfoStat versión estudiantil 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en : <http://www.infostat.com.ar>
21. Dłuzniewska, P; Gessler, A; Dietrich, H; Schnitzler, JP; Teuber, M; Rennenberg, H. 2006. Nitrogen uptake and metabolism in *Populus x canescens* as affected by salinity. New Phytol. pp 173:279–293.
22. Duygu Semiz, G; Donald, L. Suarez, Ali Ünlükara y Engin Yurtseven .2014. Interactive effects of salinity on pepper (*Capsicum Annuum L.*) yield, water use efficiency and root zone and drainage salinity, Journal of Plant Nutrition, 37:4, 595-610 (en línea).

- Consultado el 23 de setiembre del 2018. Disponible en doi: 10.1080/01904167.2013.867985
23. Ehlting, B; Dluzniewska, P; Dietrich, H; Selle, A; Teuber, M; Haensch, R; Nehls, U, Polle A, Schnitzler JP, Rennenberg H, Gessler A. 2007. Interaction of nitrogen nutrition and salinity in Grey poplar (*Populus tremula x alba*). *Plant Cell Environ* 30:796–811.
 24. Epstein, E; Bloom, AJ. 2004. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives (Second Edition). Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc. 402
 25. Fadzilla, NM; Finch, RP; Burdon, RH. 1997. Salinity, oxidative stress and antioxidant responses in shoot cultures of rice. *J Exp Bot* 48:325–331.
 26. FAO. 2001. Cuestiones éticas en los sectores de la alimentación y la agricultura. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. (en línea) Consultado el (12/12/18). Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/003/x9601s/x9601s00.htm#TopOfPage>
 27. Fernandez del pozo, M. 1984. La urea fertilizante nitrogenado. IPA La platina N°26. D (en línea). Consultado el 11 de agosto del 2018. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR02557.pdf>.
 28. Flowers, TJ. 1988. Chloride as a nutrient and as an osmoticum. *In 'Advances in Plant Nutrition'* Vol. 3 (B. Tinker and A. LauchH, eds.), pp. 55-78. Praeger, New York
 29. Frechilla, S; Lasa, B; Ibarretre, L; Lamfus, C; Aparico-Tejo, P. 2001. Pea responses to saline stress is affected by the source of nitrogen nutrition (ammonium or nitrate). *Plant Growth Regul* 35:171–179
 30. Glenn, DM; Prado, A; Erez, A; McFerson, J; Puterka, GJ. 2002. A reflective processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection and sunburn in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127: 188-193
 31. Gómez, I; Navarro Pedreño, J; Moral, R; Iborra, Ma. R; Palacios, G; Matiaix. J. 1996. Salinity and Nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. *Journal of plant nutrition*. (en línea) 19:2, 353-359. Consultado el 20 de junio del 2018. Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169609365126>.
 32. Gorham, J; Wyn Jones, RG; McDonnell, E. 1985. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant Soil* 89, 15-40.
 33. Grattan, SR; Grieve CM. 1994. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Ed. Elsevier Science, pp. 7-23.

34. Greenway, H; Munns, R; 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, pp. 149-190.
35. Günes, A; Inal, A; Alpaslan, M. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, proline, and mineral composition of pepper. *Journal of Plant Nutrition*, 19(2), 389–396. (en línea). Consultado el 14 de mayo del 2018. Disponible en doi: 10.1080/01904169609365129.
36. Halvin, JL; Beaton, JD; Tisdale, SL; Nelson, WL. 2005. *Soil fertility and fertilizers*. 7th Ed. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ.
37. Hawkins, H.J. and Lewis, O.A.M. 1993. Combination Effect of NaCl Salinity, Nitrogen form and Calcium Concentration on the Growth and Ionic Content and Gaseous Properties of *Triticum aestivum* L. cv. Gamtoos. *New Phytologist*, 124, 161-170. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03806.x>
38. Hernández, JA; Corpas, FJ; Gómez, M; Del río, LA; Sevilla, F. 1993. Salt-induced oxidative stress mediated by activated oxygen species in pea leaf mitochondria. *Physiol Plant* 89:103–110.
39. Holford, CR. 1997. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Aust J Soil Res* 35:227–239.
40. Hu, Y; Schmidhalter, U. 1997: Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. 2. Composition. *J. Plant Nutr.* 20, 1169–1182
41. Huez- López, M; Ulery, A; Samani, Z; Picchinoni, G; Flynn, R. 2011. Respuesta de la planta de Chile al estrés salino y fuentes orgánicas e inorgánicas de nitrógeno: III Absorción y translocación de iones. *tropical and Subtropical agroecosystems*, vol 14, num. 3 setiembre-diciembre 2011, pp. 765- 776. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. (en línea). Consultado el 13 de Mayo del 2018. Disponible en: [.redalyc.org/articulo.oa?id=93921493009](http://redalyc.org/articulo.oa?id=93921493009).
42. INADE (Instituto Nacional de Desarrollo). 2010. Investigación sobre el problema de salinidad en los suelos en la costa peruana (en línea). Consultado 28 ene. 2018. Disponible en: <http://apiperu.com.pe/Presentaciones/salina1.pdf>
43. Khan, MG; Srivastava, HS. (1998) Changes in growth and nitrogen assimilation in maize plant induced by NaCl and growth regulators. *Biol Plant* 41:93–99
44. Kaya C, Kirnak H, Higgs D. 2001. Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. *J Plant Nutr* 24:357–367

45. Lorenz, OA; Maynard, DN. 1980. Knott's handbook for vegetable growers. 2nd. edition. John Wiley & Sons. New York. 390 p.
46. Lycoskoufis, I; Savvas, D; Mavrogianopoulos, G. 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum L.*) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. Ed. Elsevier. pp. 149-159.
47. Maas, EV; Hoffman, G.J. (1977). Crop Salt Tolerance-Current Assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 103, 115-134
48. Marcia, JR; Portillo, OR. 2009. Evaluación de siete híbridos de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*). Informe Técnico 2009 Programa de Hortalizas. pp.107-119.
49. Marín, A; Rubio, J; Martínez, V; Gil, M. 2009. Antioxidant compounds in Green and red pepper as affected by irrigation frequency, salinity and nutrient solution composition. J Sci Food Agric 2009 ;89: 1352-1359. DOI: 10.1002/jsfa.3594.
50. Marshner, P. c2012. Marshner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3ed. London, UK, Elsevier. p. 455-467.
51. Maynard, DN; Hochmuth GJ. 2007. Knott's Handbook for Vegetable Growers, Fifth Edition. John Wiley & Sons (en línea). Consultado el 22 de abril del 2018. Disponible en Inc. ISBN: 978-0-471-73828-2
52. Mengel, K; Kirkby, E. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5ed. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers. p .232.
53. MINAGRI. 2016. Boletín estadístico de producción agraria, pecuaria y avícola (en línea). Consultado el 15 de mayo del 2018. Disponible en : <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=boletin-estadistico-de-produccion-agricola-pecuaria-y-avicola-2016>.
54. MINAGRI. 2017. Anuario estadístico de la producción agrícola. (en línea). Consultado el 3 de octubre del 2018. Disponible en: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=noticias/anuario-estadistico-produccion-agricola-2017>
55. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci 7:405–410
56. Morales Plaza, R.V. 2017. Fertilización nitrogenada y potásica en el rendimiento de ají jalapeño (*Capsicum annuum L., var. annuum cv.* Jalapeño Mitla) UNALM.

57. Moya Loayza, EE. 2012. Evaluación de la salinidad del agua de riego en el desarrollo y nutrición del maíz bajo diferentes niveles de fertilización. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM.
58. Muuns, R; Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Ann Rev Plant Biol* 59, pp. 651–681.
59. Naciones Unidas, World population prospects, key findings and tables. 2017. (En línea). Consultado el 1 de diciembre del 2018. Disponible en: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf.
60. Naheed, G; Shahbaz, M; Akram, NA. 2008. Interactive effects of rooting medium application of phosphorus and NaCl on plant biomass and mineral nutrients of rice (*Oryza sativa* L.). *Pak J Bot* 40:1601–1608
61. Nenova, V. 2008. Growth and mineral concentration of pea plants under different salinity levels and iron supply. *Gen Appl Plant Physiol* 34:189–202
62. Niu, G. 2012. Salt Tolerance in Pepper (*Capsicum spp.*) In Russo, V. Peppers: Botany, Production and Uses. Oxford, UK. CABI. p. 150 -161.
63. Niu, G; Rodriguez, D; Call, E; Bosland, P; Ulery, A; Acosta, E. 2010. Responses of eight chile pepper to saline water irrigation. *Scientia Horticulturae* 126 (2010) 215-222. (en línea). Consultado el 28 de agosto del 2018. Disponible en doi :10.1016/j.scientia.2010.07.16.
64. Nuez, F; Gil, Ramiro; Costa, Joaquín. 1996. El Cultivo de chiles, pimientos y ajíes. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España.
65. Parida, AK; Das, AB. 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. *Ecotoxicol Environ Saf* 60:324–349.
66. Pasternak, D; Malach, YD. 1994. In *Handbook of plant and crop stress, Crop irrigation with saline water*, ed Pessarakli M. (Marcel Dekker, New York, NY), pp 599–622.
67. Phang, TH; Shao, G; Liao, H; Yan, X; Lam, HM. 2009. High external phosphate (Pi) increases sodium ion uptake and reduces salt tolerance of 'Pi-tolerant' soybean. *Physiol Plant* 135:412–425
68. Pickersgill, B. 1971. Relationship between weedy and cultivated forms in some species of chilli peppers (genus *capsicum*). *Evolution* 25(4) pp. 683-691
69. Poljakoff-Mayber, A. 1975. Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress. In 'Plants in Saline Environments' (A. Poljakoff-Mayber and J. Gale, eds.), pp. 97-117. Springer-Verlag, Berlin.

70. Porta, J; López, M; Poch, R. 2011. Introducción a la edafología, uso y protección de suelos. 2 ed. rev. y ampl. Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa, p. 279-296.
71. Puertos, B; Said, E; Gastelu. 2011. Evaluación de diferentes dosis de fertilizantes de Chile jalapeño j-7 (*Capsicum annuum* L.) en la región de Amatlán de los Reyes, Veracruz. tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana.
72. Ramos Fernández, L. 1993. Efecto de la salinidad del agua de riego en el rendimiento y calidad del tomate Cv. Max cultivado con dos sistemas de espalderas en arena. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM.
73. Reisenauer, H M; Walsh, L M; Hoef, R.G. 1973. The sting soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: Soil Testing and Plant Analysis, edited by Walsh, L. M. and Beaton, J. D. Soil Sci. Soc. of America, Madison/Wisconsin, p. 173-200.
74. Rhoades, J D. 1989. Methods of Soil Analysis. Part 3. Madison, USA. Soil Science of America Society of Agronomy, p. 417-421.
75. Rozema, J; Flowers, T. 2008. Crops for a salinized world. Science 322:1478–1480
76. Sharpley, AN; Smith, SJ ; Jones, OR; Berg, WA ; Coleman, GA . 1992. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural run-off. J Environ. Qual 21:30-35.
77. Solís Leyva, F. 2015. Rendimiento y calidad de ají jalapeño (*Capsicum annuum*) cv. Mitla empleando diferentes concentraciones de ácido salicílico. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM.
78. Speer, M; Kaiser, WM . 1994. Replacement of nitrate by ammonium as the nitrogen-source increases the salt sensitivity of pea plants. 2. Intercellular and intracellular solute compartmentation in leaflets. Plant Cell Environ 17:1223–1231
79. Sykes, SR. 1992. The inheritance of salt exclusion in woody perennial fruit species. Plant Soil 166:21-29.
80. Taiz, L; Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal .3 ed. Castelló de la Plana, España, Universitat Jaume I. v.1, p. 142.
81. Tester, M; Davenport, R. 2003. Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. Annals of Botany, 91, 1-25. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg058>
82. Tisdale, SL; Nelson, WL; Beaton, JD and Havlin, JL. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Fifth Edition. Ed. Mc. Millan. Ontario, p. 634.

83. Turner, AD; Wien, HC. 1994. Dry matter assimilation and partitioning in pepper cultivars differing in susceptibility to stress-induced bud and flower abscission. *Annals of Botany* 73: 617–622
84. Uras, DS; Sonmez, S. 2016. EC level affects nutrient contents of pepper (*Capsicum annuum*) grown on various soil textures (en línea). *Acta Horticulturae* (1142):355-360. Consultado el 1 de setiembre del 2018. Disponible en doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1142.54>.
85. Uchida, R. 2000. Recommended Plant Tissue Nutrient Levels. *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches to Tropical and Subtropical Agriculture*, p. 57-65.
86. From Agriculture Handbook No. 60, USDA Salinity Laboratory in Riverside, Calif.)
87. USDA Salinity Laboratory in Riverside. 1954. *Agriculture handbook No 60*. (en línea). Disponible en <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside-ca/us-salinity-laboratory/docs/handbook-no-60/>. Consultado el 12 de diciembre del 2018.
88. Vance, CP; Uhde-Stone, C; Allan, DL. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a non-renewable resource. *New Phytol* 157:423–447
89. Villa-Castorena, M; Ulery, A; Catalán-Valencia, E; Remmenga, M. 2003. Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of chile pepper plants.
90. Waisel, Y; Eshel, A; Agami, M. 1986. Salt balance of leaves of the mangrove *Avicennia marina*. *Physiol Plant* 67, 67-72.
91. Walker, WR; 1989. *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation on systems*. FAO, Rome.
92. Wyn Jones, RG; Pollard, A. 1983. Proteins, enzymes and inorganic ions. In: *Inorganic Plant Nutrition, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. 15B*, edited by Lauchli, A. and Bieleski, R. L., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. p. 528-562.
93. Yousfi, S; M'sehli, W; Mahmoudi, H; Abdelly, C; Gharsalli, M. 2007. Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency. *Plant Physiol Biochem* 45:309–314

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza para el peso seco del follaje de la planta de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	29.82	14.91	85.44	<0.0001
Dosis de fertilización	2	16.66	8.33	47.74	<0.0001
Interacción	4	7.80	1.95	11.18	0.0001
Error	18	3.14	0.175		
Total	26	57.42			
CV (%)	15.19				

Anexo 2: Análisis de varianza para el peso seco de fruto de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	0.53	0.26	14.72	<0.0001
Dosis de fertilización	2	1.06	0.52	29.59	<0.0001
Interacción	3	0.73	0.24	1.35	0.293
Error	16	0.29	0.018		
Total	26	2.61			
CV (%)	14.42				

Anexo 3: Análisis de varianza para el peso seco radicular de la planta de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	48.20	24.10	173.51	<0.0001
Dosis de fertilización	2	42.45	21.22	152.82	<0.0001
Interacción	4	15.73	3.93	28.32	<0.0001
Error	18	2.50	0.14		
Total	26	108.87			
CV (%)	10.27				

Anexo 4: Análisis de varianza para peso seco total de planta de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	184.39	92.19	192.81	<0.0001
Dosis de fertilización	2	130.05	65.03	136.00	<0.0001
Interacción	4	35.43	8.86	18.52	<0.0001
Error	18	8.61	0.48		
Total	26	422.51			
CV (%)	9.60				

Anexo 5: Análisis de varianza para concentración de nitrógeno foliar de la planta de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	56303	28151	99.84	<0.0001
Dosis de fertilización	2	52973	26487	93.93	<0.0001
Interacción	4	16294	4073	14.45	<0.0001
Error	18	5075	282		
Total	26	130645			
CV (%)	16.79				

Anexo 6: Análisis de varianza para concentración de fósforo foliar de la planta de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > f
Salinidad del agua	2	145.26	72.63	70.24	<0.0001
Dosis de fertilización	2	119.49	59.75	57.78	<0.0001
Interacción	4	33.32	8.33	8.06	0.0006
Error	18	18.61	1.03		
Total	26	316.19			
CV (%)	18.84				

Anexo 7: Análisis de varianza para la concentración de potasio foliar de la planta de ají Jalapeño.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	29746	14873	106.76	<0.0001
Dosis de fertilización	2	26889	13445	96.51	<0.0001
Interacción	4	8360	2090	15.00	<0.0001
Error	18	2508	139		
Total	26	67503			
CV (%)	16.49				

Anexo 8: Análisis de varianza para la concentración de cloruro foliar de la planta de ají Jalapeño.

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F cal	Pr > F
Salinidad del agua	2	792.8	396.4	35.00	<0.0001
Dosis de fertilización	2	820.4	410.2	36.22	<0.0001
Interacción	4	120.1	30.0	2.65	0.0672
Error	18	203.8	11.3		
Total	26	1937.1			
CV (%)	13.76				

Anexo 9: Análisis de varianza para concentración de sodio foliar de la planta de ají Jaapeño.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > f
Salinidad del agua	2	450.9	225.43	160.53	<0.0001
Dosis de fertilización	2	184.7	92.37	65.78	<0.0001
Interacción	4	62.9	15.72	11.19	<0.0001
Error	18	25.3	1.40		
Total	26	723.8			
CV (%)	13.12				

Anexo 10: Análisis de varianza para conductividad eléctrica final del sustrato.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	9.17	4.58	67.06	<0.0001
Dosis de fertilización	2	0.10	0.05	0.76	0.4835
Interacción	4	0.27	0.07	0.97	0.4459
Error	18	1.30	0.07		
Total	26	10.77			
CV (%)	10.94				

Anexo 11: Análisis de varianza para pH final del sustrato.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr > f
Salinidad del agua	2	0.25	0.12	1.41	0.2704
Dosis de fertilización	2	2.57	1.29	14.56	0.0002
Interacción	4	0.70	0.17	1.97	0.143
Error	18	1.59	0.09		
Total	26	5.11			
CV (%)	4.43				

Anexo 12: Promedios de alturas durante el desarrollo del experimento de ají Jalapeño.

Salinidad del agua dS.m ⁻¹	Fertilización mg.kg ⁻¹	42	49	67	84	129	148
		ddt					
1.0	0-0-0	8.17	10.10	14.33	17.67	18.03	18.46
	150-150-0	5.93	8.37	14.03	19.13	19.99	20.98
	300-300-0	10.40	12.93	18.33	19.67	19.76	20.63
2.3	0-0-0	10.73	12.10	15.53	16.95	17.28	17.47
	150-150-0	11.87	15.57	16.53	17.85	18.15	18.89
	300-300-0	10.20	13.63	17.27	17.93	18.03	20.14
3.4	0-0-0	6.64	9.60	12.90	14.37	14.23	14.93
	150-150-0	7.51	10.13	11.33	12.77	13.41	13.51
	300-300-0	9.83	10.47	12.67	14.82	15.32	14.57

Anexo 13: Desarrollo de biomasa seca de planta y concentración de nutrientes en *capsicum anuum* cv UCR 589

Días	Peso Seco (20833 plantas.ha ⁻¹)				Concentración					
	g.planta ⁻¹				%					
	Fruto	P. aérea	Raíz	Total	N	P	K	Ca	Mg	S
26	0	0	0	0	4.76	0.48	3.81	0.48	0.24	0.48
40	0	0.2	0.1	0.2	3.95	0.39	3.51	0.35	0.18	0.31
54	0	0.8	0.2	0.9	4.36	0.20	5.02	0.81	0.32	0.36
68	0	2.9	0.3	3.3	4.87	0.23	5.36	1.18	0.46	0.37
82	0.7	10.2	1.1	12	4.35	0.30	6.36	1.48	0.58	0.35
96	12.8	25.2	2.4	40.3	3.92	0.32	5.28	1.17	0.47	0.32
110	69.7	34.3	3.4	107.4	3.31	0.30	4.15	0.78	0.34	0.24
124	136.5	25.8	3.1	185.4	2.84	0.39	4.50	0.62	0.29	0.23
138	175.2	36	4.1	215.2	2.40	0.32	4.02	0.52	0.26	0.23
152	195.8	36.2	5.7	239.7	2.23	0.33	3.12	0.41	0.22	0.22
166	198.2	34.7	6	238.9	2.80	0.51	3.10	0.42	0.26	0.30

FUENTE: Azofeifa, A. 2000, citado por Bertsch, F. 2009

Anexo 14: Desarrollo de peso seco de planta y concentración de nutrientes en *capsicum annum* cv HOT

Días	Peso Seco (20833 plantas.ha ⁻¹)				Concentración					
	g.planta ⁻¹				%					
	Fruto	P. aérea	Raíz	Total	N	P	K	Ca	Mg	S
26	0	0	0	0	4.76	0.48	4.76	2.38	0.24	0.24
40	0	0.3	0.1	0.4	3.65	0.31	2.86	0.36	0.18	0.29
54	0	1.2	0.2	1.4	5.08	0.21	5.08	1.05	0.44	0.39
68	0.2	3.6	0.3	4.1	4.83	0.27	5.49	1.21	0.53	0.36
82	2.6	8.9	0.7	12.2	4.42	0.29	5.56	1.29	0.51	0.30
96	13.3	20.8	1.6	35.7	3.89	0.30	4.76	1.11	0.45	0.35
110	31.6	30.6	2.3	64.5	3.16	0.22	3.69	0.91	0.36	0.26
124	43.1	30.2	2.8	76.1	2.67	0.20	3.48	0.96	0.33	0.24
138	49	34.2	4	87.2	3.07	0.10	3.99	1.18	0.40	0.45
152	50	42.9	5.3	98.2	2.93	0.19	3.56	1.06	0.34	0.32
166	53	39.1	4.9	97	2.70	0.29	3.42	1.58	0.36	0.35
180	54.1	38	5.4	97.5	2.65	0.38	3.34	0.77	0.29	0.32
194	56.7	53.7	7.5	117.9	2.26	0.28	3.24	0.88	0.30	0.30

FUENTE: Azofeifa, A. 2000, citado por Bertsch, F. 2009