



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

NIVELES DE REFERENCIA EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL SUMINISTRO EN PIMIENTO

LUIS ALBERTO MARTÍNEZ MORALES

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

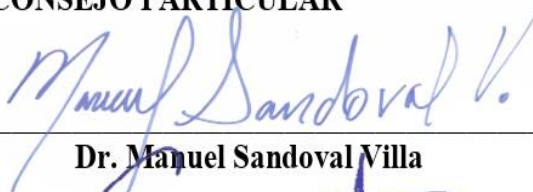
2021

La presente tesis titulada: **Niveles de referencia en la solución del suelo y su relación con el suministro en pimiento** realizada por el alumno: **Luis Alberto Martínez Morales**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR



Dr. Gabriel Alcántar González

ASESOR



Dr. Carlos Ramírez Ayala

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2021

NIVELES DE REFERENCIA EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL SUMINISTRO EN PIMIENTO (*Capsicum annuum*)

Luis Alberto Martínez Morales, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

Para el cultivo de hortalizas de alto rendimiento en suelo es útil contar con intervalos de suficiencia en la solución del suelo (SS) y en la planta de los nutrimentos esenciales además de mantener un pH y también cierta conductividad eléctrica (CE) en la SS. La presente investigación consiste en la generación de intervalos de referencia de los nutrientes en la SS para el cultivo de pimiento morrón de alto rendimiento. Se eligieron dos suelos con salinidad diferente en los cuales se evaluó el efecto de dos manejos prescriptivos correctivos (MPC1 y MPC2) basados en el monitoreo de la CE y en mantener niveles de suficiencia de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ en la SS comparados con un manejo convencional (MC) en el que se estableció una CE en la solución nutritiva (SN) por etapa fenológica (EF). Las EF se designaron como: arranque (A), floración y fructificación (FF) y cosecha (C) a estas se les designó una CE de la SN: 1.5, 2.0 y 2.5 dS m^{-1} respectivamente. Se instalaron sondas de succión para obtener SS. Se determinó la CE, el pH y la concentración de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Na^+ para monitorear la evolución de la SS durante el ciclo de cultivo. Se determinaron variables fisiológicas: lecturas SPAD, concentración de nutrientes y sólidos solubles totales (SST) en extracto celular de pecíolo (ECP) y morfológicas: altura (AP), diámetro de tallo, y número de amarres. Los resultados indicaron que con el MPC2 se puede conseguir que los niveles de suficiencia en la SS sean estables. La salinidad inicial del suelo y la concentración de iones en la SN tuvieron un efecto significativo en las lecturas SPAD, concentración de iones y SST en el ECP. No existió diferencia en el nitrógeno total (Nt) aunque en la condición de suelo salino este fue menor. El peso promedio y total de frutos cosechados no se afectó por ninguno de los factores estudiados. El número de frutos amarrados fue mayor con el MC en el suelo no salino. Los frutos con mayor cantidad de SST se encontraron en el suelo no salino sin importar el manejo.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, concentración iónica, conductividad eléctrica.

**REFERENCE LEVELS IN SOIL SOLUTION AND THEIR RELATIONSHIP
WITH SUPPLY IN BELL PEPPER (*Capsicum annuum*)**

Luis Alberto Martínez Morales, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

For the cultivation of high-yield vegetables in soil, it is useful to have sufficiency reference levels in soil solution (SS) and in the plant of the essential nutrients in addition to maintaining certain pH and electrical conductivity (EC) in the soil. The present investigation consists in the generation of sufficiency levels of the nutrients in the SS for the cultivation of high-yield bell pepper. Two soils with different salinity were chosen to assess the effect of two prescriptive corrective management (MPC1 and MPC2) based on EC monitoring and maintaining sufficiency levels of NO_3^- , Ca^{2+} and K^+ in the SS was compared with conventional management (MC) in which an EC was established in the nutritive solution (NS) by phenological stage. The phenological stages (PS) were designated as: start-up (A), flowering and fruiting (FF) and harvest (C) each one were designated a NS with the following EC: 1.5, 2.0 and 2.5 dS m⁻¹ respectively. Suction cups were installed to obtain SS. EC, pH and concentration of NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} and Na^+ was determined to monitor the evolution of SS during the cultivation cycle and obtain the reference intervals. Physiological variables were determined: SPAD readings, nutrient concentration, and total soluble solids (TSS) in petiole cell extract (PCE) and morphological variables: height, stem diameter, and number of fruits. The results indicate that with MPC2 it is possible to achieve stable sufficiency levels in SS. The initial salinity of the soil and the ion concentration in the SS had a significant effect on the SPAD readings, ion concentration and TSS in the ECP. There was no differentiation in total nitrogen (Nt) although in the saline soil condition it was lower. The average and total weight of harvested fruits was not affected by any of the factors studied. The number of fruits set was higher with CM in non-saline soil. The fruits with the highest amount of TSS were founded in non-saline soil regardless of management.

Keywords: *Capsicum annuum*, ionic concentration, electrical conductivity.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis no podría ser sin el apoyo de mi familia cercana, quienes estuvieron y estarán presentes en los momentos más difíciles, en salud y en enfermedad.

Dedico pues este trabajo:

A mis padres Noemi Morales Pérez y Doroteo Martínez Carrión, todos mis pasos dejan su huella.

A mis queridas y admiradas hermanas Nayeli y Elena.

A Carolina Bohórquez mi compañera mi cómplice y todo.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado para lograr la investigación y el grado académico.

Al Colegio de Posgraduados por brindarme la oportunidad de enriquecer mi carrera profesional y personal, con conocimiento y aprendizajes.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por su interés, dedicación y paciencia en mi formación y en la culminación de este proyecto.

A los integrantes de mi consejo particular por su atenta colaboración: Dr. Ernesto Gabriel Alcántar Gonzales y al Dr. Carlos Ramírez Ayala.

A los invaluable profesores del colegio con quienes tuve la oportunidad de formarme académicamente, en particular a la Dra. Libia Iris Trejo Téllez y al Dr. Javier Suárez Espinosa.

A la Dra. Carolina Bohórquez que me apoyo en todo momento y le trajo paz a los momentos inquietos.

A mis queridos compañeros de maestría: Jiosheline, Alberony, Diego, Marco, Santos, José y Eduardo con quienes compartimos trabajo y vivencias.

A la Ing. Sonia García y al C.P. Juan García por su apoyo en los momentos más difíciles y por la confianza depositada en mí.

A Abner Morales, Arael Morales y Alexander Morales que me apoyaron en todo el camino.

A todos los que de una u otra forma colaboraron en la culminación de este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
III. OBJETIVOS	4
3.1 Objetivo General.....	4
3.1.1 Objetivos Específicos	4
IV. HIPÓTESIS	5
4.1 Hipótesis General.....	5
4.1.1 Hipótesis específicas.....	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA	6
5.1 El Cultivo de Pimiento Morrón	6
5.1.1 Origen	6
5.1.2 Importancia Económica	6
5.1.3 Valor Nutritivo del Pimiento	7
5.2 Requerimientos Climáticos del Pimiento morrón.....	7
5.2.1 Temperatura	7
5.2.2 Humedad Relativa (HR)	8
5.2.3 Luminosidad	8
5.2.4 Suelo	8
5.3 Fertirriego: Avances y Retos	9
5.4 La solución Nutritiva	10
5.5 La Extracción de la Solución del Suelo	11
5.6 La Fertilización del Pimiento.....	12
5.7 La Salinidad	13

5.7.1 Tolerancia a la Salinidad del pimiento	14
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
6.1 Ubicación del Experimento	15
6.2 Material Vegetal	15
6.3 Tratamientos y Diseño Experimental	16
6.4 Sistema de Riego y Monitoreo de la Humedad	17
6.4.1 Monitoreo de la Solución del Suelo.....	17
6.5 Variables evaluadas	18
6.5.1 Altura y Diámetro de Tallos	18
6.5.2 Peso seco.....	18
6.5.3 Rendimiento y Calidad de Frutos	18
6.5.4 Número de Frutos Amarrados.....	18
6.5.5 Lecturas atLEAF.....	19
6.5.6 Concentración de Iones y °Brix en ECP	19
6.5.7 Nitrógeno Total.....	20
6.6 Análisis Estadístico.....	20
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
7.1 Monitoreo de la Solución del Suelo.....	22
7.2 Variables Fisiológicas.....	25
7.2.1 pH y CE en ECP	25
7.2.2 Concentración de Iones en el ECP.....	27
7.2.3 Sólidos Solubles Totales (SST) en ECP	32
7.3 Nitrógeno Total.....	35
7.4 Variables Morfológicas.....	36
7.4.1 Diámetro Basal y Apical.....	36
7.4.2 Altura de Planta y Materia Seca	38
7.5 Variables de Rendimiento y Calidad de Fruto.....	39
VIII. CONCLUSIONES GENERALES.....	46
IX. LITERATURA CONSULTADA	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Disminución del rendimiento en cultivo de chile en función de la salinidad (dS m^{-1}) generada por la solución fertilizante o la solución del suelo.	12
Cuadro 2. Suministro de las soluciones nutritivas (SN) por etapa fenológica: (A) arranque, (FF) floración y fructificación y (C) cosecha.	16
Cuadro 3. Evolución del pH, conductividad eléctrica (CE) y concentración de iones en la solución del suelo (SS) de dos suelos con salinidad inicial diferente, bajo tres manejos de la solución fertilizante.....	23
Cuadro 4. Soluciones nutritivas aportadas por tratamiento y por etapa del cultivo.	24
Cuadro 5. Significancia estadística del pH y la conductividad eléctrica (CE) en extracto celular de pecíolo (ECP) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) por efecto de la salinidad inicial del suelo y el manejo de la solución nutritiva.	26
Cuadro 6. Medias del pH y CE (dS m^{-1}) en extracto celular de pecíolo por el efecto del manejo de la solución nutritiva y la salinidad inicial del suelo.	27
Cuadro 7. Significancia estadística de la concentración de iones en el extracto celular de pecíolo (ECP) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) por manejo de la solución nutritiva (Manejo), condición de salinidad inicial del suelo (Salinidad) y su interacción.	28
Cuadro 8. Medias de la concentración de N-NO_3^- y K^+ (mg L^{-1}) en extracto celular de pecíolo por el efecto del manejo de la solución nutritiva y la salinidad inicial del suelo.	29
Cuadro 9. Concentración de Ca^{2+} y Na^+ (mg L^{-1}) en extracto celular de pecíolo por efecto del manejo de la solución nutritiva y la salinidad inicial del suelo.	31
Cuadro 10. Significancia estadística de los sólidos solubles totales (SST) en el extracto celular de pecíolo (ECP) bajo el manejo de la solución nutritiva (Manejo), condición de salinidad inicial del suelo (Salinidad) y su interacción.....	32
Cuadro 11. Concentración de nitrógeno total (Nt) en hojas de pimiento por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.	36

Cuadro 12. Diámetro basal (DB) y apical (DA) del tallo de plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.....	37
Cuadro 13. Altura de plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad de suelo (SI), manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.....	38
Cuadro 14. Peso de la materia seca de plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad de suelo (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN	39
Cuadro 15. Peso promedio de frutos (PPF) y Peso total de frutos (PTF) cosechados en plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), el manejo de la solución Nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN	40
Cuadro 16. Número de frutos cosechados (NFC) y número de frutos amarrados (NFA) por planta de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial de suelo (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.	41
Cuadro 17. Peso de frutos proyectado (PFP) al número de amarres en plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), el manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.	43
Cuadro 18. Sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sólidos solubles totales (SST; °Brix) en extracto celular de pecíolo (ECP) por manejo de la fertilización (A) y en la condición de salinidad (B).	33
Figura 2. Lecturas SPAD de plantas de pimiento morrón bajo tres manejos de la solución nutritiva (A) y en dos condiciones de salinidad inicial de suelo (B). Valores con distinta letra sobre la barra indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).	34
Figura 3. Lecturas SPAD por efecto de la interacción entre la salinidad inicial del suelo ($S > 2$ y $S < 2$) y el manejo de la solución nutritiva, manejo convencional (MC), manejo en función de la CE en la SS (MPC1), manejo en función de iones en la SS (MPC2). Valores con distinta letra en una columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).	35

I. INTRODUCCIÓN

En la producción intensiva de hortalizas uno de los principales factores que inciden en la calidad de la producción y susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades es la nutrición del cultivo.

Esta se refiere a la dinámica de elementos minerales en las plantas, los suelos y los ecosistemas, y esto permite avances en la productividad de cultivos. Sin embargo, la información generada para los cultivos no es específica para la diversidad de las condiciones agroambientales.

En este contexto, el desconocimiento de técnicas efectivas y la falta de parámetros específicos para cultivos de interés, ha llevado a la sobre fertilización de terrenos agrícolas y por lo tanto a la contaminación de los mantos freáticos.

Para generar programas de fertilización que nutran adecuadamente los cultivos es necesario tener datos continuos de la interacción entre el sistema suelo-planta-agua, sobre todo en cultivos que son sensibles a la salinidad. Una de las técnicas que se enfocan en el manejo de estos parámetros es el uso de sondas de succión que extraen *in situ* la solución del suelo y mediante aparatos de medición portátil es posible estimar los niveles en que se encuentran los nutrientes en las distintas etapas del cultivo.

La presente investigación plantea la generación de parámetros de referencia de los nutrientes en la solución del suelo, tomando en cuenta las condiciones agroambientales en el que se cultiva pimiento morrón en la empresa Santi-Agro SPR de RL de CV ubicada en el bajío guanajuatense, en el municipio de Santiago Maravatío. En la región la agricultura, intensiva bajo invernadero, depende completamente del abastecimiento de agua del subsuelo que en temporada de sequía tiene una CE arriba de 1 dS m^{-1} debido a altas concentraciones de Ca, Mg y Na. El Na es un elemento tóxico y cultivos como el pimiento disminuyen su rendimiento potencial. Bajo este contexto el objetivo de esta investigación

es establecer valores de referencia de la concentración de nutrientes en la solución del suelo mediante el manejo de la SN aportada y determinar su efecto en la morfología, fisiología y rendimiento total del cultivo de pimiento para alto rendimiento.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Santi-Agro SPR de RL de CV cuenta con 16 ha de invernadero dedicadas al cultivo de pimiento. Los terrenos, en los que se ha cultivado por más de 10 años, se han deteriorado tanto física como químicamente en términos de fertilidad. Los contenidos de materia orgánica (MO) son menores a 2% y en algunos casos la CE excede los 5 dS m⁻¹.

A pesar de las limitantes que representa para la producción de un cultivo moderadamente sensible a la salinidad como lo es el pimiento, no ha sido visión de la empresa mudar la producción a un sistema en sustrato, siendo su objetivo la regeneración y cuidado del suelo donde se cultiva. El cuidado del suelo se ha realizado mediante la adición de enmiendas y el monitoreo constante de solución de suelo extraída mediante una sonda de succión.

Mediante el análisis continuo de la solución de suelo se regula la salinidad en la zona radicular. Sin embargo, se identifica como dificultad la insuficiente información sobre parámetros de referencia de la concentración de nutrientes en la solución del suelo y su relación con la solución nutritiva aportada, parámetros que permitan caracterizar la eficiencia de la nutrición del cultivo de pimiento bajo invernadero que supondría tener control sobre el sistema suelo-planta-agua, con la finalidad de obtener mayor producción, mejor calidad y una reducción en el riesgo de contaminación del ambiente.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Establecer intervalos de suficiencia de la concentración de nutrientes en la solución de suelo con relación al fertirriego aportado en el cultivo de pimiento para alto rendimiento bajo invernadero.

3.1.1 Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto del manejo de la solución nutritiva y dos condiciones de salinidad de suelo (alta y baja) en la SS y las variables morfológicas, fisiológicas y de rendimiento del pimiento morrón para alto rendimiento en invernadero.
2. Determinar si el manejo de la solución nutritiva en suelos con alta y baja salinidad tienen un efecto en la concentración de iones de la SS y en las variables morfológicas fisiológicas y de rendimiento del pimiento morrón para alto rendimiento en invernadero.

IV. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis General

Ho: El Manejo Prescriptivo Correctivo (MPC) produce los mismos efectos que el Manejo Convencional (MC) sobre la producción de pimiento de alto rendimiento bajo invernadero.

Ha: El MPC produce efectos diferentes al MC sobre la producción de pimiento de alto rendimiento bajo invernadero.

4.1.1 Hipótesis específicas

Ho: El MPC y el MC mantienen los mismos niveles de concentración de nutrientes en la solución del suelo y características fisiológicas y morfológicas similares.

Ha: El MPC y el MC mantienen diferentes concentraciones de nutrientes en la solución del suelo y diferentes características fisiológicas y morfológicas.

Ho: Con el MPC se pueden mantener intervalos de suficiencia en la solución del suelo.

Ha: Con el MPC no se pueden mantener intervalos de suficiencia en la solución del suelo.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 El Cultivo de Pimiento Morrón

5.1.1 Origen

El pimiento morrón es originario de la región andina, entre Bolivia y Perú, con una altitud de 1400 a 2000 m, de donde se extendió a América Central y Meridional. Pertenece a la familia *Solanaceae*, que cuenta con una gran diversidad de especies, entre ellas la de los chiles. Su crecimiento, tamaño, forma, color y pungencia lo integran en una clasificación más general, debido a su gran variabilidad genética conlleva a que existan varias posturas respecto a su denominación botánica, sin embargo, la mayoría de los autores aceptan que es *Capsicum annuum* la especie que engloba a casi todas las variedades cultivadas (Berrones *et al.*, 2013).

5.1.2 Importancia Económica

El pimiento es un cultivo ampliamente producido en el mundo, su introducción en Europa durante el siglo XVI supuso un avance culinario y una oportunidad para su producción, ya que vino a complementar e incluso sustituir a la pimienta negra (*Piper nigrum* L.), de gran importancia comercial entre Oriente y Occidente (Russo, 2012).

La producción de pimiento en México se destina tanto para el consumo nacional como para su exportación. Este tipo de chile, también conocido como chile dulce o Bell, tiene importancia económica principalmente en los estados de Sonora y Sinaloa pues actualmente poseen el 77% (6352 Ha) de la superficie total con este cultivo, sin embargo, la mayor superficie corresponde a la producción bajo malla sombra (SIAP, 2019). Por lo que se refiere a Guanajuato, según datos del SIAP (2019) el cultivo ha cobrado importancia, hasta ocupar el tercer lugar (373 ha) a nivel nacional en producción bajo condiciones de invernadero. Cabe destacar que se realiza bajo un riguroso manejo de

inocuidad, que permite ser competitivo en los mercados de exportación (Castellanos, 2004).

5.1.3 Valor Nutritivo del Pimiento

El color, sabor y valor nutritivo del pimiento (*Capsicum spp.*) se le pueden atribuir a un arreglo de diferentes metabolitos. Son una fuente importante de nutrientes en la dieta humana, una fuente excelente de vitaminas A, C y de compuestos fenólicos (Russo, 2012). Además, los pimientos son considerados como una buena fuente de carotenoides, flavonoides y elementos minerales. En particular resultan de mucha importancia los carotenoides y flavonoides ya que han demostrado tener propiedades anti carcinogénicas y anti mutagénicas (Lee *et al.*, 2005).

La composición de 100 g de pimiento fresco es de 92.4 g de agua, 1.2 g de proteína, 0.2 g de grasa, 5.7 g de hidratos de carbono (25 cal g⁻¹). 1.4 g de celulosa, 0.001 g de calcio, 0.025 g de fósforo, 0.0004 g de hierro, 0.0006 g de sodio, 0.17 g de potasio, 0.0006 g de complejo B, y 0.19 g de ácido ascórbico (Castellanos, 2004).

5.2 Requerimientos Climáticos del Pimiento morrón

5.2.1 Temperatura

El pimiento es una especie sensible al frío, que requiere temperaturas más elevadas que otros cultivos, como por ejemplo el tomate. La temperatura ideal para el desarrollo del cultivo es de 20 a 25 °C por el día y de 16 a 18 °C por la noche. Con temperatura de 0 °C la planta se heló y por debajo de los 10 °C la planta detiene su crecimiento, el desarrollo es deficiente desde los 15 °C. Con temperaturas nocturnas comprendidas entre 8 y 10 °C el polen se hace inviable para la fecundación (Castellanos, 2004; Camacho, 2003).

5.2.2 Humedad Relativa (HR)

La humedad relativa óptima oscila entre 50 y 70%, cuando la humedad es mayor se favorece el desarrollo de enfermedades y se dificulta la fecundación de flores. Si la humedad es baja y la temperatura es alta se produce caída de flores y frutos recién cuajados (Camacho, 2003; Díaz-Pérez, 2014).

5.2.3 Luminosidad

Esta solanácea es muy exigente en luminosidad, tanto en su desarrollo vegetativo, principalmente cuando es joven, como en la floración; esta planta admite temperaturas más altas cuando aumenta la luminosidad. Sin embargo, si la temperatura excede los valores máximos se pueden ocasionar desordenes fisiológicos en detrimento de la producción (Díaz-Pérez, 2014).

Cuando hay poca luz por periodos nubosos, por el uso de dobles techos o por encalados de las cubiertas, los entrenudos de los tallos de pimiento se alargan demasiado y quedan muy débiles para soportar una cosecha óptima de frutos, en estas condiciones la planta florece menos y las flores son más débiles (Camacho, 2003).

5.2.4 Suelo

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, con un adecuado contenido de materia orgánica (3 a 4%) y principalmente bien drenados. Los valores de pH óptimos van de 6.5 a 7 aunque resiste valores extremos desde 5.5 a 8. Es una especie moderadamente resistente a la salinidad, cuando el suelo y el agua presentan condiciones de salinidad elevada el cultivo disminuye su rendimiento (Castellanos, 2004; Arranz, 2010).

5.3 Fertirriego: Avances y Retos

La fertirrigación es la técnica de aportar fertilizantes disueltos, a través de un sistema de riego a los cultivos, tiene el potencial de poder aplicar el agua y los nutrientes de acuerdo a la necesidad de la planta (Jiménez *et al.*, 2012). Para que la fertirrigación sea efectiva se debe encontrar un balance entre la concentración de nutrientes y el volumen de agua de riego a aplicar, dependiendo del estado fenológico del cultivo, de tal forma que se minimice la posibilidad de acumulación de fertilizantes en el suelo que podría resultar en salinización y, consecuentemente, en la reducción de la productividad (Blanco y Folegatti, 2002).

El volumen de riego puede ser estimado mediante varios métodos: tradicionalmente está basado en la experiencia de los productores o los técnicos de campo. Otros métodos clásicos son a través del uso de tensiómetros o a partir de la lámina de agua evaporada del tanque Clase A, multiplicada por el coeficiente de cultivo (K_c) (Jiménez *et al.*, 2012, Blanco y Folegatti, 2002).

Usualmente la fertirrigación de los cultivos en suelo se realiza mediante dos enfoques: Tradicionalmente se aportan los nutrientes en un sentido cuantitativo que es adaptado de una necesidad teórica del cultivo, a su vez determinada de una solución nutritiva en cultivos sin suelo (Lao *et al.*, 2004). En la práctica la composición de esta solución nutritiva es modificada en las etapas fenológicas de los cultivos o como respuesta a diagnósticos visuales (Thompson *et al.*, 2015). Con otro enfoque, como es el caso de Holanda, es utilizar soluciones nutritivas formuladas para cultivos en suelo, para tal fin han desarrollado metodologías que cuentan con un programa de investigación para determinar estas soluciones nutritivas, basadas en un monitoreo constante de la solución del suelo (Sonneveld y Voogt, 2009).

Una de las técnicas de manejo de fertirriego ampliamente utilizada en la producción de cultivos bajo invernadero en Holanda, Italia y Grecia, es la modulación de los nutrientes

individuales en la SN en función de la desviación entre la concentración óptima y la concentración real de nutrientes en el suelo, medida en extractos acuosos periódicos 1: 2 (v: v) del suelo cada 3-4 semanas (Thompson *et al.*, 2015), método propuesto por Sonneveld y Voogt (2009).

El uso de procedimientos basados en conocimientos técnicos-científicos para determinar las necesidades nutrimentales de los cultivos en todo momento debe ser normalizado en la producción de cultivos intensivos, esto contribuirá en la reducción del uso excesivo de fertilizantes, en la reducción de costos y en un menor impacto al medio ambiente. En este sentido Tei (2017) menciona que en el siglo veintiuno el acercamiento al manejo nutricional de los cultivos debe incluir el modelado de la producción, sistemas de soporte a la decisión, pruebas del estatus nutricional de los cultivos y agricultura de precisión, ya que incluso la mejora de las variedades se ha dirigido hacia el uso eficiente de los nutrientes.

5.4 La solución Nutritiva

Castellanos (2004) menciona que la SN es una mezcla de elementos nutritivos en solución, a una concentración y relaciones elementales definidas, de tal forma que favorecen la absorción nutrimental del cultivo. Además, de los puntos anteriores se ha demostrado que la temperatura de la SN afecta la absorción de iones, como el Ca^{2+} , por lo cual es un parámetro importante en zonas o temporadas frías, la temperatura ideal de la SN debería ser lo más cercano a 22 °C.

En cuanto al manejo de la SN utilizando sondas de succión, Thompson *et al.* (2015) reporta que para NO_3^- se ha utilizado con éxito en cultivos bajo invernadero, manteniendo una concentración mínima de 5 mmol L^{-1} . Fernández *et al.* (2013) mediante un manejo prescriptivo-correctivo (MPC), mencionan que manteniendo una concentración de 8 a 12 mmol L^{-1} en el extracto de suelo, se obtienen resultados similares a los del manejo convencional. Sin embargo, las sondas de succión tienen la desventaja de presentar

incertidumbre en cuanto a la variabilidad espacial de los puntos de muestreo individuales, el uso de tendencias se usa para disminuir este error (Fernández *et al.*, 2013).

Los rangos de suficiencia de nutrientes en la solución del suelo pueden integrarse en un sistema de apoyo a las decisiones, que permita estimar requerimientos de nutrientes y agua, en un manejo nutricional dinámico con un enfoque correctivo (Giménez *et al.*, 2012).

5.5 La Extracción de la Solución del Suelo

La extracción de agua del suelo puede realizarse utilizando dos tipos de dispositivos: lisímetros activos y lisímetros pasivos. Los lisímetros activos, como las sondas de punta de cerámica, extraen agua del suelo a través de la presión de aire negativa (succión) ejercida dentro del tubo. Los lisímetros pasivos recolectan agua al redirigir el flujo descendente de agua durante el riego en una taza de recolección (Falivene, 2008).

La adopción del análisis de la solución de suelo depende de la necesidad. El mayor nivel de adopción de esta herramienta ha sido de los productores que enfrentan pérdidas de producción por problemas de salinidad del suelo en cultivos hortícolas anuales y perennes (Falivene, 2008).

En este sentido, las razones por las que la fertilización en invernadero se realiza de forma inadecuada son diversas, una de ellas es que los costos de fertilización en el invernadero son relativamente bajos en comparación a la mano de obra o a los agroquímicos; por lo que desde el punto de vista económico no había argumentos para realizar una aplicación precisa y cuidadosa de nutrientes (Sonneveld y Voogt, 2009). Esta situación ha generado que muchos agricultores basen la fertilización en “recetas” ineficaces para sus cultivos (Van-Esch, 2015).

En los últimos años se ha considerado al suelo y al agua como recursos no renovables; el uso de nutrientes sintéticos se ha optimizado mediante diferentes técnicas de manejo de la fertilización y el riego. El monitoreo de la solución del suelo mediante el uso de sondas de succión constituye una herramienta complementaria al análisis foliar y al diagnóstico del estado nutricional de la planta. Estas técnicas han resultado óptimas para el control de la fertilización, pues con este sistema se puede conocer la composición química de la solución del suelo en la rizosfera, así como poder estimar en cada momento la disponibilidad de nutrientes en el medio (concentraciones y equilibrios), registrar la tasa de absorción de fertilizantes e identificar las condiciones de absorción (pH y salinidad); todo ello resultado de las interacciones producidas en el sistema disolución fertilizante-suelo-planta (Martínez-Martínez, 2010).

5.6 La Fertilización del Pimiento

La fertilización del pimiento bajo invernadero se relaciona directamente con el abastecimiento de agua, en muchos casos ésta depende completamente de fuentes subterráneas; que en temporada de sequías llega a tener una CE arriba de 1.0 dS m^{-1} , con altas concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , no adecuada para la producción de pimiento, pues es una planta moderadamente sensible a la salinidad y se ha comprobado que una CE del extracto saturación del suelo de 3.0 dS m^{-1} provoca problemas en el desarrollo y puede disminuir su productividad potencial hasta un 50%, tal como se observa en el Cuadro 1 (Camacho, 2003).

Cuadro 1. Disminución del rendimiento en cultivo de chile en función de la salinidad (dS m^{-1}) generada por la solución fertilizante o la solución del suelo.

Cultivo	0 %	10 %	25 %	50 %	Máximo
	CEa	CEa	CEa	CEa	
Chiles	1.5	2.2	3.3	5.1	8.5

Fuente: Sánchez (2017)¹.

¹ Datos obtenidos del “Taller en fertirriego 2017” en la ciudad de Morelia, Michoacán.

Señalado lo anterior, es por esta razón que se recomienda que el manejo nutricional esté basado en niveles de conductividad que van de 1.5 a 1.8 dS m⁻¹ hasta la cosecha, esto siempre y cuando la CE del agua sea menor de 1.0 dS m⁻¹. Una vez iniciada la cosecha se debe mantener la CE de 1.8 a 2.5 dS m⁻¹ (Camacho, 2003).

Con respecto a las necesidades nutricionales el pimiento presenta importantes exigencias de nutrientes. En cuanto a nitrógeno se requieren concentraciones intensas durante las primeras fases y decrece tras la recolección de los primeros frutos verdes. A partir de ese momento, el control de su dosificación debe ser óptimo, pues un exceso provocaría un retraso en la maduración de los frutos. La máxima demanda de fósforo coincide con la aparición de las primeras flores y con el periodo de maduración de las semillas. La absorción de potasio aumenta progresivamente hasta la floración, y se mantiene después equilibrada y es determinante en la precocidad coloración y calidad de los frutos. El pimiento es un fruto exigente en cuanto a la nutrición de magnesio. La absorción de este elemento aumenta durante la maduración (Vera, 1997).

5.7 La Salinidad

Un factor emergente que puede impactar la producción del pimiento, y de la agricultura en general, es la salinidad del agua y del suelo (Russo, 2012). Una forma indirecta de expresar la salinidad es a través de la CE, medida en dS m⁻¹, al multiplicarse por un factor de conversión se puede interpretar como la cantidad total de sales disueltas, principalmente: Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ y CO₃²⁻ (Rhoades *et al.*, 1999).

La forma usual de medir la CE es a través de un extracto de pasta saturada o en la solución del suelo extraída a través de sondas de succión. Sin embargo, la salinidad no es una propiedad estática de la solución del suelo, pues está fuertemente influenciada por el cambio espacial y temporal del contenido de humedad (Carter y Gregorich, 2001). Por lo tanto, la salinidad es una propiedad dinámica en la zona radicular, modificada por la

extracción de agua, la absorción selectiva de iones por la raíz de la planta y por la evaporación y rehidratación debida a riego o lluvia (Russo, 2012).

Son tres los efectos adversos debidos a la salinidad: la disminución de potencial osmótico (PO) del suelo, la toxicidad por algún ion o desbalance de nutrientes y la perdida de la permeabilidad del suelo debida a la dispersión coloidal cuando se acumulan cantidades excesivas de Na^+ en el complejo de intercambio catiónico (Carter y Gregorich, 2001).

5.7.1 Tolerancia a la Salinidad del pimiento

La salinidad puede tener efectos positivos o negativos en el crecimiento, calidad y rendimiento, del cultivo de pimiento. Una alta salinidad retarda el crecimiento de las plántulas, reduce el rendimiento e incrementa la incidencia de pudrición apical del fruto (Russo, 2012).

Desde hace ya varias décadas el pimiento se catalogó como un cultivo moderadamente sensible a la salinidad (Marschner, 2011), con un límite de 1.5 dS m^{-1} y una reducción del 14% de rendimiento por cada dS m^{-1} de CE que aumente en extracto de pasta saturada. Se ha encontrado que la tolerancia a la salinidad es dependiente de la variedad, y que incluso variedades nuevas han demostrado una mayor sensibilidad a la salinidad (Navarro *et al.*, 2002). En estudios en invernadero se ha encontrado que plántulas trasplantadas expuestas a una CE arriba de 4.5 dS m^{-1} las raíces fueron afectadas en un 17% más que la parte apical. De igual forma se reportó un efecto severo en la conductancia estomática, en la transpiración y en la fotosíntesis cuando las plantas fueron expuestas a una CE de 2.5 dS m^{-1} (Russo, 2012).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación del Experimento

El experimento se desarrolló en los invernaderos de la empresa Santi-Agro SPR de RL de CV, en el municipio de Santiago Maravatío, Guanajuato a $20^{\circ} 10' 28''$ N y $100^{\circ} 59' 38''$ O y a una altitud de 1750 m. Los invernaderos son de tipo capilla con ventilación lateral y cenital sencilla.

6.2 Material Vegetal

Se utilizaron plantas de pimiento morrón (*Capsicum annum*) de la variedad DR0719PB de Semillas Ahern con las siguientes características: planta con 35 días después de la siembra, de 17 cm al trasplante, con 2 pares de hojas verdaderas, de crecimiento indeterminado con frutos tipo “blocky” de color verde en estado inmaduro y color naranja al madurar.

Las plantas fueron cultivadas en dos invernaderos, seleccionados en función de su salinidad, misma que se evaluó a través de un análisis de fertilidad de suelo, con lo cual se definió que en el invernadero conocido como Jerécuaro, ubicado en una zona con $CE > 2 \text{ dS m}^{-1}$, se establecería el experimento bajo condiciones de salinidad ($S > 2$) mientras que en el invernadero conocido como Tierra Caliente, ubicado en una zona con $CE < 2 \text{ dS m}^{-1}$, se estableció el experimento en condiciones no salinas ($S < 2$).

El $S > 2$ presentó las siguientes características $\text{pH} = 7.45$, $\text{MO} = 2.44 \%$, $\text{P} = 96 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{N} = 119 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{Ca} = 24.93 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, $\text{K} = 4.06 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, $\text{Mg} = 8.37 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, $\text{Na} = 3.0 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ y $\text{CIC} = 40.03 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$. Asimismo, el $S < 2$ presentó las siguientes características $\text{pH} = 7.88$, $\text{MO} = 2.7 \%$, $\text{P} = 97.3 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{N} = 106 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{Ca} = 28.3 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, $\text{K} = 5.22 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, $\text{Mg} = 9.95 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, $\text{Na} = 2.95 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ y $\text{CIC} = 46.4 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$.

6.3 Tratamientos y Diseño Experimental

Se utilizó un diseño en bloques generalizados con cinco repeticiones y dos bloques, con un total de 30 unidades experimentales (UE). El gradiente de variación para los bloques fue el suelo con CE diferente: $S > 2$ y $S < 2$. Cada UE consistió en una cama de siembra de 2 m de largo por 0.8 m de ancho, con 10 plantas en una hilera cada 20 cm.

De acuerdo con lo establecido por Moreno *et al.* (2011) se designaron tres etapas fenológicas para el cultivo, en las que se modificó la concentración de nutrientes en la SN de acuerdo al tratamiento, de la siguiente forma: arranque (A) del día 0 al día 21, floración y fructificación (FF) del día 22 al día 60 y cosecha (C) del día 60 al día 138.

Cuadro 2. Suministro de las soluciones nutritivas (SN) por etapa fenológica: (A) arranque, (FF) floración y fructificación y (C) cosecha.

Tratamiento	SN por etapa del cultivo
MC [†]	A= 1.5 dS m ⁻¹ FF= 2.0 dS m ⁻¹ C= 2.5 dS m ⁻¹
MPC1 [‡]	A= 1.5 dS m ⁻¹ FF= 2.0 dS m ⁻¹ C= 2.5 dS m ⁻¹
MPC2 [§]	[NO ₃ ⁻] en A y FF de 5 meq L ⁻¹ y en C de 10 meq L ⁻¹ [K ⁺] en A y FF de 1.5 meq L ⁻¹ y en C de 3 meq L ⁻¹ [Ca ²⁺] en A y FF de 8 meq L ⁻¹ y en C de 12 meq L ⁻¹

[†]MC= Manejo convencional.

[‡]MPC1= Manejo prescriptivo correctivo en función de la CE de la solución del suelo.

[§]MPC2= Manejo prescriptivo correctivo en función de la concentración de iones.

Los tratamientos aplicados fueron tres manejos de la solución nutritiva, utilizando como concepto para su formulación la relación mutua entre cationes y aniones propuesta por

Steiner (Juárez *et al.*, 2006): Manejo Convencional (MC) en el que se aportó solución nutritiva (SN) desde el trasplante hasta el término del experimento; Manejo Prescriptivo Correctivo (MPC1) en el que se aportó SN únicamente cuando la CE de la solución de suelo (SS) se encontraba 10% por debajo de la CE asignada para la etapa y; Manejo Prescriptivo Correctivo (MPC2) en el cual el aporte de SN se realizó cuando la concentración de iones estuvo 10% debajo del rango propuesto en la etapa fenológica del cultivo (Cuadro 1).

6.4 Sistema de Riego y Monitoreo de la Humedad

Los sistemas de riego se instalaron dentro de los invernaderos, se utilizaron tinacos de agua de 200 L equipados con bobas hidráulicas, filtros, válvulas para regular la presión y cintilla de riego por goteo marca Netafin Streamline[®] con goteros cada 20 cm y gasto de 1.05 L h⁻¹ y presión de trabajo de 0.1 MPa. Para cada manejo de la solución nutritiva se instaló un sistema de riego con derivaciones, de tal forma que la SN se suministrara únicamente a las camas del manejo correspondiente.

Para el monitoreo de la humedad y necesidad de riego se instalaron tensiómetros de 15 y 30 cm en cada condición de suelo. Para la extracción y análisis de la solución del suelo (SS) se colocaron de forma aleatoria 3 sondas de succión por cada manejo.

6.4.1 Monitoreo de la Solución del Suelo

El monitoreo de la SS se realizó una vez por semana. La instalación de las sondas de succión fue sobre la línea de la cinta de riego a 10 cm de la planta y entre dos goteros, una vez instalados se equilibró la sonda con la SS cargándola dos veces y despreciando las muestras obtenidas, para obtener la muestra definitiva se aplicó vacío a la sonda hasta obtener -70 kPa (6 bombeos con una jeringa de 20 cm³) y se extrajo la solución 24 horas después. Con ayuda de tensiómetros se verificó que el suelo se encontrara a capacidad de campo, con lecturas de de 0.01 a 0.015 MPa. A partir de los datos obtenidos se tomaba la

decisión para el aporte de la SN en los diferentes manejos. El análisis de las muestras se realizó con ionómetros marca Horiba Laqwat para pH, CE, NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ y Na^+ .

6.5 Variables evaluadas

6.5.1 Altura y Diámetro de Tallos

La altura se midió desde la base del tallo hasta el nivel superior del dosel de las plantas. El diámetro de los tallos se midió en la base y en el ápice de los dos tallos secundarios de cada planta de los que se obtuvo el promedio. Altura y diámetros de tallo fueron evaluados en cada etapa fenológica: a los 0, 30 y 90 días después del trasplante (ddt).

6.5.2 Peso seco

Al finalizar el experimento, 180 ddt, se realizó la evaluación del peso seco total de la planta. Se cortó a ras del suelo, desde el cuello de la planta, se secó en un horno de secado durante 72 horas a 72 °C y se pesó en una báscula granataria.

6.5.3 Rendimiento y Calidad de Frutos

La maduración inició a los 90 ddt y la primera cosecha se realizó a los 102 ddt cuando los frutos tenían una coloración mayor al 25%. Las cosechas se realizaron semanalmente, en cada una se evaluó peso promedio de frutos (PPF), peso total de frutos por planta (PTF), número de frutos cosechados por planta (NFC) y sólidos solubles totales (°Brix).

6.5.4 Número de Frutos Amarrados

El número de frutos amarrados consistió en el total de frutos cosechados y la cantidad de chiles inmaduros que se encontraban en la panta al final del experimento, con la finalidad de evaluar el rendimiento a largo plazo, ya que un ciclo normal puede ir hasta los 290 ddt.

6.5.5 Lecturas atLEAF

El atLEAF CHL (FT Green LLC®, EE. UU.) es un medidor de clorofila no destructivo que funciona de manera similar al SPAD, pero que utiliza una longitud de onda de 660 nm en lugar de 650 nm. Mendoza-Tafoalla *et al.* (2019) mencionan que las lecturas obtenidas con un medidor de clorofila atLEAF CHL PLUS son similares a las obtenidas con el SPAD, sin embargo, el medidor atLEAF es actualmente más asequible que el SPAD. Se realizó una evaluación a los 135 ddt.

Las lecturas atLEAF fueron convertidas a valores SPAD de acuerdo con la ecuación propuesta por Zhu *et al.*, (2012). Estudios como el de De Souza (2019) y Padilla *et al.* (2018) coinciden en que ambos medidores presentan una alta correlación en cuanto a la predicción del contenido de clorofila y el estatus de N en plantas de pimiento morrón.

6.5.6 Concentración de Iones y °Brix en ECP

Las evaluaciones en extracto celular de pecíolo se realizaron a los 30, 60 y 90 ddt entre las 10 y las 12 am, cuando la temperatura se encontraba entre los 22 y los 25 °C y la humedad del suelo monitoreado con tensiómetros tuvieran lecturas de 0.01 a 0.015 MPa. Para obtener el ECP se tomaron muestras de pecíolo y de tejido conductor de las hojas recientemente maduras de todas las plantas en cada una de las unidades experimentales, se lavaron con agua destilada y posteriormente se secaron con papel sanitario, para ser troceados en fracciones de 0.5 cm, los cuales se colocaron en el congelador para su congelación durante 24 horas aproximadamente.

La extracción de la savia se realizó mediante una prensa, de acuerdo con la metodología descrita por Cadahía (2008). La savia fue analizada con ionómetros marca Horiba Laqwat para pH, CE, NO₃⁻, Ca²⁺, K⁺ y Na⁺. Asimismo, se evaluaron los sólidos solubles totales en el ECP (SSTP).

6.5.7 Nitrógeno Total

Para determinar el nitrógeno total (Nt) en hojas maduras se utilizó la técnica de micro Kjeldhal, se pesó 0.25 g de muestra vegetal en tubos de ensayo de 50 mL y se agregaron 2 mL de la siguiente mezcla de ácidos 2:1 de H_2SO_4 y $HClO_4$ al 72% posteriormente se agregó 1 ml de peróxido de hidrogeno. Se colocó el tubo en plancha precalentada a 100 °C. Después de 15 minutos se elevó la temperatura a 150 – 180 °C, y se esperó a que desaparecieran los vapores. Se dejó enfriar por tres minutos, y se llevó a un volumen de 25 ml con agua desionizada. Posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL y paso por el destilador agregando 10 ml de NaOH al 50%, el destilado se recolectó en un matraz Erlenmeyer con 20 ml de ácido bórico al 4% más 0.2 mL del indicador verde de bromocerol – rojo de metilo hasta recibir un volumen de 50 ml. Para finalizar la titulación se realizó con ácido sulfúrico 0.5 N hasta que viro a una coloración ligeramente rosada. Se incluyeron 2 blancos y se realizaron los cálculos con la siguiente formula:

$$\% Nt = \frac{(Vm - Vb) \times N \times 14 \times 100}{Pm \times 1000}$$

Dónde:

Vm = volumen de ácido sulfúrico empleado en titular la muestra.

Vb = volumen del ácido sulfúrico empleado para titular el blanco

N = normalidad exacta del ácido sulfúrico usado para titular

14 = peso equivalente del N

Pm = peso de la muestra expresado en gramos

6.6 Análisis Estadístico

Los resultados fueron analizados con análisis de varianza usando el programa estadístico R, donde el manejo y la salinidad se definieron como factores de variación. Las

interacciones entre los factores también fueron comprobadas. Se consideraron diferencias significativas entre tratamientos cuando el valor de p (p-value) fue <0.05 . Cuando se encontraron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se hace referencia a los resultados obtenidos en esta investigación, se reportan el monitoreo de la solución del suelo (SS), variables fisiológicas, variables morfológicas y variables de rendimiento y calidad de frutos. Asimismo, se discuten tanto los efectos significativos como los no significativos obtenidos con las herramientas estadísticas antes mencionadas.

7.1 Monitoreo de la Solución del Suelo

El monitoreo de la solución del suelo mediante lisímetros de 15 cm se presenta en el Cuadro 3, en este se observa la evolución de las características químicas evaluadas en la solución del suelo (SS) a los 30, 60 y 90 ddt en las dos condiciones iniciales de salinidad del suelo: $S < 2$ y $S > 2$.

Bajo el MC el comportamiento de la SS presentó mayor variabilidad en el tiempo que bajo los otros dos manejos. En este caso el pH se redujo de manera significativa iniciando con valores arriba de 8 a los 30 ddt y, al final, a los 90 ddt con un promedio de 7.9. Bajo el MC la CE incrementó en ambas condiciones de salinidad inicial de suelo, con una clara tendencia de incremento favorecida por la SN aportada (Cuadro 4), obviamente incrementándose la salinidad total.

La concentración de todos los iones en la SS con MC aumentó rápidamente, acumulándose hasta el doble de la concentración de la SN aportada, esto concuerda con lo reportado por Corral *et al.* (2016) quienes al comparar diferentes técnicas de muestreo de la SS encontraron que en lisímetros que utilizan tensión para extraer la fase líquida, la concentración de sales siempre es mayor debido a que con este método el suelo no tiene que estar saturado para obtener una muestra.

Cuadro 3. Evolución del pH, conductividad eléctrica (CE) y concentración de iones en la solución del suelo (SS) de dos suelos con salinidad inicial diferente, bajo tres manejos de la solución fertilizante.

Factor	Salinidad	ddt	pH	CE	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺
				dS m ⁻¹	-----meq L ⁻¹ -----			
MC	S>2	30	8.35 a	2.74 b	2.29 b	10.22 b	3.15 b	9.42 b
		60	8.15 ab	3.99 ab	7.15 b	22.83 a	3.60 ab	14.0 ab
		90	7.94 b	5.72 a	19.1 a	25.94 a	5.53 a	16.9 a
	S<2	30	8.09 a	4.81 b	9.23 b	13.91 b	4.93 b	20.6 b
		60	8.08 ab	5.66 ab	11.3 b	22.16 a	5.16 ab	26.3 ab
		90	7.92 b	7.15 a	32.4 a	26.38 a	5.82 a	26.5 a
MPC1	S>2	30	7.23 a	3.64 a	2.56 a	6.97 b	3.34 a	9.15 b
		60	8.21 a	2.3 a	12.3 a	15.08 a	2.81 a	7.75 b
		90	8.16 a	2.17 a	5.04 a	10.33 a	3.3 a	4.17 b
	S<2	30	8.1 a	3.39 a	2.94 a	9.5 b	3.17 a	12.3 a
		60	8.26 a	3.4 a	3.51 a	16 a	3.38 a	16.8 a
		90	7.91 a	5.19 a	19.6 a	22.72 a	3.62 a	20.6 a
MPC2	S>2	30	8.41 a	2.4 a	5.21 a	8.61 a	3.17 b	10.1 b
		60	8.36 a	2.13 a	7.96 a	10.41 a	2.45 b	8.84 b
		90	8.37 a	2.89 a	2.29 a	11.38 a	2.68 b	9.32 b
	S<2	30	8 b	4.27 a	4.37 a	13.16 a	4.57 a	13.7 a
		60	8.27 b	3.86 a	3.43 a	14.02 a	4.21 a	17.7 a
		90	8.28 b	2.51 a	5.3 a	9.23 a	3.76 a	12.7 a

Medias con distinta letra en una columna indican diferencia estadística significativa por factor (p-value<0.05). MC= Manejo convencional; MPC1= Manejo en función de la CE de la SS; MPC2= Manejo en función de la concentración de iones de la SS.

Es importante mencionar que la CE fue hasta 60% mayor que con el MPC1 y MPC2, además las concentraciones de NO₃⁻, Ca²⁺ y K⁺ fueron 70, 50 y 40% más bajas que en el MC. Al respecto Jiménez *et al.* (2012) mencionan que con manejo tradicional del

fertirriego la salinidad del suelo aumenta y la concentración de nutrientes puede representar hasta 40% más que a través de manejos dinámicos.

En el MPC1 y MPC2 no se encontraron diferencias significativas ni en el pH ni en la CE durante el ciclo del cultivo. En el MPC1 se elevó la concentración de Ca^{2+} a los 60 y 90 ddt, hecho que coincide con la aplicación de la SN aportada (2 y 2.5 dS m^{-1}), aunque este aporte se realizó únicamente cuando la CE de la SS era 10% menor a la de la SN (Cuadro 4). Asimismo, el Na^+ aumentó su concentración; en S<2 hubo mayor acumulación de este ion, situación que puede estar relacionada a la concentración de Na^+ presente en el agua de riego (6 a 8 meq L^{-1}).

Cuadro 4. Soluciones nutritivas aportadas por tratamiento y por etapa del cultivo.

Tratamiento	ddt	pH	NO_3^-	H_2PO_4^-	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	CE dS m^{-1}
			----- meq L^{-1} -----					
MC /	30	5.5	9	0.75	5.25	6.75	3	1.5
MPC1	60	5.5	12	1	7.00	9.00	4	2.0
	90	5.5	15	1.25	8.75	11.25	5	2.5
MPC2 S>2	30	5.5	2.8	-	-	-	2.8	-
	60	5.5	2.8	-	-	-	2.8	0.28
	90	5.5	9.8	-	3	2	2.8	0.48
MPC2 S<2	30	5.5	3.1	-	3.1	-	3.1	0.31
	60	5.5	3.1	-	-	-	3.1	0.31
	90	5.5	7.1	-	4	4	3.1	0.71

MC= Manejo convencional; MPC1= Manejo en función de la CE de la SS; MPC2= Manejo en función de la concentración de iones de la SS.

Corral *et al.* (2016) reportan el mismo comportamiento de los iones Ca^{2+} y Na^+ asociado tanto a la fuente de agua como a la recarga de iones provenientes del suelo, en este sentido Aceves (2011) menciona que en suelos regados con aguas con altos contenidos de

bicarbonatos y de Na^+ , a través de los procesos de humedecimiento y secado se forman CaCO_3 y Na_2CO_3 que se precipitan y posteriormente vuelven a pasar a la SS.

La desviación estándar fue determinada en cada parámetro y se encontró gran variabilidad o dispersión de los valores, Raij-Hoffman *et al.* (2020) mencionan que esta variabilidad puede deberse a una combinación de factores, donde la muestra está influenciada por la heterogeneidad del suelo, el momento del muestreo y la humedad en el perfil del suelo, lo cual provoca que los resultados requieran una interpretación cuidadosa de la representatividad de las muestras y proponen que para que las sondas de succión sean herramientas certeras en el monitoreo de la SS deben ser utilizadas en conjunto con técnicas de modelado.

7.2 Variables Fisiológicas

7.2.1 pH y CE en ECP

La salinidad inicial del suelo afectó el pH en el ECP a los 30 y 90 ddt, mientras que la CE, en la misma fuente de variación, solamente se afectó a los 60 ddt.

Los análisis de savia son una de las pruebas rápidas más comunes para estimar el estado nutricional en el xilema, en la savia del floema, el apoplasto y el contenido citosólico y vacuolar (Farneselli *et al.* 2014). En cuanto al pH y la CE de un ECP las sustancias en cada tejido y órgano tienen contenidos diferentes: por el xilema se transporta agua y iones de forma acropétala y el pH y CE dependen de diversos factores, mientras que en el floema se transportan moléculas orgánicas, principalmente sacarosa, desde las hojas hacia el resto de la planta y su pH es alcalino (7-8) (White, 2003).

Cuadro 5. Significancia estadística del pH y la conductividad eléctrica (CE) en extracto celular de pecíolo (ECP) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) por efecto de la salinidad inicial del suelo y el manejo de la solución nutritiva.

ddt	Fuente de variación	pH	CE
30	Manejo	0.55 ns	0.37 ns
	Salinidad	0.0003 *	0.07 ns
	Salinidad*Manejo	0.34 ns	0.37 ns
60	Manejo	0.55 ns	0.85 ns
	Salinidad	0.33 ns	0.04 *
	Salinidad*Manejo	0.34 ns	0.44 ns
90	Manejo	0.04 *	0.24 ns
	Salinidad	0.0002 *	0.33 ns
	Salinidad*Manejo	0.002 *	0.50 ns

ns: p-value > 0.05; *: p-value < 0.05.

El movimiento, la concentración y distribución de cationes dentro de la célula puede afectar el pH del ECP ya que la mayoría de las proteínas que regulan la homeostasis de estos se activan a través de H-ATPs que liberan iones hidrógeno en el citosol y en el apoplasto, disminuyendo el pH. En este estudio las plantas con pH significativamente menor tuvieron siempre una mayor concentración de K⁺ y Na⁺ en el ECP (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias del pH y CE (dS m⁻¹) en extracto celular de pecíolo por el efecto del manejo de la solución nutritiva y la salinidad inicial del suelo.

Fuente de variación	pH			CE (dS m ⁻¹)		
	Días después de trasplante (ddt)					
	30	60	90	30	60	90
Manejo						
MC	5.96 a	5.80 a	6.11 ab	15.42 a	18.88 a	>20
MPC1	5.98 a	5.78 a	6.15 a	15.46 a	19.06 a	>20
MPC2	5.98 a	5.78 a	6.01 b	15.26 a	18.96 a	>20
DMS	0.072	0.072	0.12	0.95	1.56	*
Salinidad						
S>2	5.92 b	5.77 a	6.18 a	15.63 a	18.44 b	>20
S<2	6.03 a	5.80 a	6.0 b	15.13 a	19.49 a	>20
DMS	0.048	0.048	0.08	0.63	1.04	*
Salinidad*Manejo	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: p-value > 0.05; *: Los datos no presentaron normalidad.

7.2.2 Concentración de Iones en el ECP

En el manejo de la SN, la salinidad inicial del suelo influyó en la concentración de N-NO₃⁻ y de Ca²⁺ en el ECP a los 30 ddt. A los 60 ddt únicamente la salinidad inicial del suelo tuvo efecto sobre la concentración de Ca²⁺ y K⁺, ni el manejo de la SN ni la interacción entre factores afectó la concentración de iones. Mientras que a los 90 ddt existió diferencia significativa en la concentración de Na⁺ por efecto de la salinidad del suelo, igual ocurrió con la concentración de K⁺ por efecto de la salinidad y del manejo de la SN; asimismo, se encontró diferencia significativa en la concentración de N-NO₃⁻ por efecto de la salinidad (Cuadro 7).

Cuadro 7. Significancia estadística de la concentración de iones en el extracto celular de peciolo (ECP) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) por manejo de la solución nutritiva (Manejo), condición de salinidad inicial del suelo (Salinidad) y su interacción.

Fuente de variación	[N-NO ₃ ⁻]	[Ca ²⁺]	[K ⁺]	[Na ⁺]
	----- mg L ⁻¹ -----			
30 ddt				
Manejo	0.22 ns	<0.05 *	0.20 ns	0.21 ns
Salinidad	0.8*10 ⁻³ *	<0.05 *	0.46 ns	0.26 ns
Salinidad*Manejo	0.41ns	<0.05 *	0.18 ns	0.09 ns
60 ddt				
Manejo	0.54 ns	0.4 ns	0.37 ns	0.18 ns
Salinidad	0.06 ns	0.01 *	0.01 *	0.08 ns
Salinidad*Manejo	0.33 ns	0.08 ns	0.70 ns	0.33 ns
90 ddt				
Manejo	0.41 ns	ns	0.02 *	0.49 ns
Salinidad	0.001 *	ns	0.003 *	<0.05 *
Salinidad*Manejo	0.81 ns	ns	0.36 ns	0.06 ns

ns: p-value > 0.05; *: p-value < 0.05.

En las tres etapas de muestreo del ECP, la salinidad del suelo afectó la concentración de N-NO₃⁻, a los 30 ddt en las plantas del suelo con CE inicial mayor a 2 dS m⁻¹ fue estadísticamente superior con una media de 1238 mg L⁻¹, sin embargo, no hubo ninguna diferencia entre el manejo de la SN. A los 60 y 90 ddt la mayor concentración de N-NO₃⁻ fue de 1484 mg L⁻¹ en las plantas del suelo S<2, y sin diferencias estadísticas por manejo de la SN (Cuadro 8).

Cuadro 8. Medias de la concentración de N-NO₃⁻ y K⁺ (mg L⁻¹) en extracto celular de peciolo por el efecto del manejo de la solución nutritiva y la salinidad inicial del suelo.

Fuente de variación	[N- NO ₃ ⁻]			[K ⁺]		
	Días después de trasplante (ddt)					
	30	60	90	30	60	90
Manejo						
MC	1130 a	1288 a	1209 a	4050 a	5000 a	5983 b
MPC1	1085 a	1435 a	1232 a	3750 a	5200 a	6616 a
MPC2	1017 a	1299 a	904 a	3900 a	5200 a	6750 a
DMS	187.63	179.39	345.78	761.54	438.67	784.55
Salinidad						
S>2	1238 a	1296 b	894 b	4133 a	5400 a	5866 b
S<2	984 b	1408 a	1484 a	3666 a	4866b	7033 a
DMS	125.12	119.61	231.47	507.81	292.51	523.16
Salinidad*Manejo	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Medias con distinta letra en una fila indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); ns= No se encontraron diferencias significativas.

La evolución de la [N-NO₃⁻] en ECP se muestra en el Cuadro 8. Inicialmente, a los 30 ddt, la [N-NO₃⁻] en ECP se mantuvo por debajo de los niveles de suficiencia sugeridos por Hochmuth (2012) en los tres tratamientos. A los 60 ddt los valores se mantuvieron dentro de los niveles de suficiencia. Durante la primera cosecha, a los 90 ddt, solamente el MPC2 se encontró dentro de los niveles de suficiencia y aunque no se encontró diferencia significativa, en el MC y MPC1 la [N-NO₃⁻] fue mayor, es posible que bajo estos dos tratamientos exista una absorción de N excesiva. Magán *et al.* (2019) reporta resultados similares al utilizar como nivel de referencia en la SS 5 meq L⁻¹. En este estudio los niveles NO₃⁻ en la SS para el MPC2 siempre se mantuvieron por debajo de 5 meq L⁻¹, sin afectar la [N-NO₃] en ECP.

La concentración de K^+ en ECP se afectó por el manejo de la SN solo a los 90 ddt; MPC1 (6616a) y MPC2 (6750a) fueron superiores al MC (5983b). A mayor salinidad del suelo, la concentración de K aumentó a los 60 ddt, pero lo inverso ocurrió a los 90 ddt (Cuadro 8). El potasio juega un rol importante en la respuesta de las plantas al estrés por salinidad (Maathuis, 2006). En este experimento la $[K^+]$ en ECP fue siempre elevada, comparada con lo sugerido por Hochmuth (2012) y Cadahia (2008), sin importar la condición de salinidad. En todos los tratamientos la $[K^+]$ en la SS hasta los 60 ddt fue mayor a los niveles de referencia propuestos y únicamente a los 90 ddt bajo el MPC2 la $[K^+]$ en la SS fue menor a los 3 meq L^{-1} propuestos para esta etapa. Sin embargo, esto no afectó negativamente la $[K^+]$ en ECP (Cuadros 3 y 8). Esto podría indicar que niveles de referencia más bajos pueden ser fijados en la SS.

En el caso del Na^+ , ni el manejo de la SN, ni la condición de salinidad del suelo indujeron efectos a los 30 y a los 60 ddt. A los 90 ddt la condición $S>2$ tuvo mayor concentración de Na^+ que $S<2$ (Cuadro 9).

La concentración de Ca^{2+} varió por manejo de la SN solo a los 30 ddt; con mayor concentración con MC (9.83 mg L^{-1} , Cuadro 9). Asimismo, a los 30 ddt se encontró interacción en la combinación manejo de las SN y salinidad inicial, la mayor concentración se registró en $S<2$ y MC (Figura 1). Respecto a que a los 90 ddt no se encontró Ca^{2+} en el ECP, esto puede deberse a que la concentración de Ca^{2+} del xilema está influenciada en gran medida por la $[Ca^{2+}]$ en la zona radicular, se reportan concentraciones micro molares en la sabia del xilema.

Por otro lado, el calcio en la planta es un nutriente inmóvil que una vez descargado del xilema en tejidos y órganos donde la transpiración es mayor es difícilmente removilizado y redistribuido por el floema (Tang, 2017). Además, la proporción total de Ca^{2+} también varía ya que puede encontrarse quelatado en la sabia del xilema por ácidos orgánicos tales como malato y citrato (White, 2003). Esto puede afectar la lectura del ionómetros

específico (Horiba) ya que el ECP es una mezcla de savia tanto del xilema, floema, como del apoplasto, una combinación de bajas concentraciones y la reacción del Ca^{2+} con los ácidos orgánicos de los otros tejidos pueden ser no detectables ya que su rango de lectura va de los 0.1 a los 250 mmol L^{-1} .

Cuadro 9. Concentración de Ca^{2+} y Na^+ (mg L^{-1}) en extracto celular de pecíolo por efecto del manejo de la solución nutritiva y la salinidad inicial del suelo.

Fuente de variación	[Ca^{2+}]			[Na^+]		
	Días después de trasplante					
	30	60	90	30	60	90
Manejo						
MC	9.83 a	4 a	0 a	205 a	175 a	120 b
MPC1	1.00 c	2 a	0 a	185 a	140 a	117 b
MPC2	4.30 b	4 a	0 a	185 a	120 a	150 a
DMS	2.17	5.09	0	30.80	38.46	26.13
Salinidad						
S>2	0.0 a	0.0 a	0 a	196 a	133 a	94 b
S<2	11 a	6.6 a	0 a	186 a	156 a	150 a
DMS	1.54	3.39	0	2.54	25.64	17.42
Salinidad*Manejo	†	ns	ns	ns	ns	ns

Medias con distinta letra en una fila indican diferencia estadística significativa (p -value<0.05); † = Existe diferencia significativa en alguna de las interacciones.

El calcio es un ion divalente y conforme los iones aumentan en valencia su absorción disminuye (Marschner, 2011). Huez-López (2011) menciona que altas concentraciones de Na^+ en el suelo pueden tener un efecto adverso en la absorción de Ca^{2+} y por lo tanto el incremento en la salinidad disminuye la absorción de Ca^{2+} . Aunque no existieron síntomas de deficiencia de Ca^{2+} en este experimento, incluso ante un aumento progresivo de la salinidad en la SS y que no se detectó en ECP, la [Na^+] en ECP fue menor en los

tratamientos MC y MPC1 a los 90 ddt, donde el aporte de calcio fue mayor (Cuadro 9). Este comportamiento se observó a los 30 ddt, donde en el S<2 se encontró Ca²⁺ mientras que en el S>2 no se detectaron.

7.2.3 Sólidos Solubles Totales (SST) en ECP

En el Cuadro 10 se muestra el efecto del manejo de la SN y de la condición de suelo sobre los sólidos solubles totales (SST, cuyas unidades son °Brix o %) encontrados en ECP en tres etapas fenológicas. A los 30 ddt, tanto el manejo de la SN como las dos condiciones de suelo, tuvieron efecto significativo sobre los SST en el ECP de las plantas (Cuadro 10). La condición inicial de salinidad del suelo tuvo un efecto significativo en los °Brix a los 60 ddt (Figura 1). A los 90 ddt no se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 10. Significancia estadística de los sólidos solubles totales (SST) en el extracto celular de pecíolo (ECP) bajo el manejo de la solución nutritiva (Manejo), condición de salinidad inicial del suelo (Salinidad) y su interacción.

Fuente de variación	SST (° Brix)		
	Días después del trasplante		
	30	60	90
Manejo	0.04 *	0.13 ns	0.26 ns
Salinidad	0.0005 *	0.04 *	0.66 ns
Salinidad*Manejo	0.16 ns	0.24 ns	0.11 ns

ns: p-value > 0.05; *: p-value < 0.05.

En el ECP proveniente de plantas en las dos condiciones de salinidad del suelo, el MPC1 obtuvo la mayor concentración de SST (Figura 2).

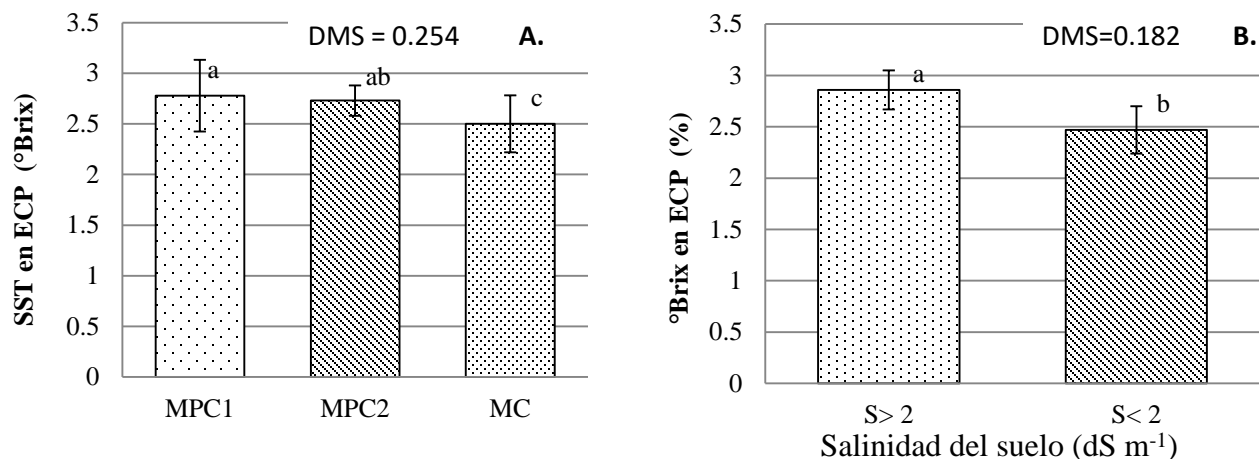


Figura 1. Sólidos solubles totales (SST; °Brix) en extracto celular de pecíolo (ECP) por manejo de la fertilización (A) y en la condición de salinidad (B).

Aunque los SST a los 30 y 60 ddt son mayores en el MPC1 y MPC2 y en el S>2, no mucho antes de mostrar síntomas visibles de deficiencia. En los tratamientos MPC1 y MPC2 no se utilizaron fuentes de magnesio durante los primeros 30 ddt en la SN aportada mientras en el MC sí, esto podría explicar el aumento en los SST e indicar deficiencia de dicho elemento no necesariamente significa que las plantas estén nutridas adecuadamente. Cakmak (2010) menciona que bajo deficiencia de magnesio las plantas acumulan carbohidratos en las hojas.

7.2.4 Lecturas SPAD

El manejo de la SN no influyó en las lecturas SPAD o en el verdor de las hojas, mientras que la condición inicial de salinidad del suelo sí. Las lecturas son mayores en las plantas S<2 (Figura 2).

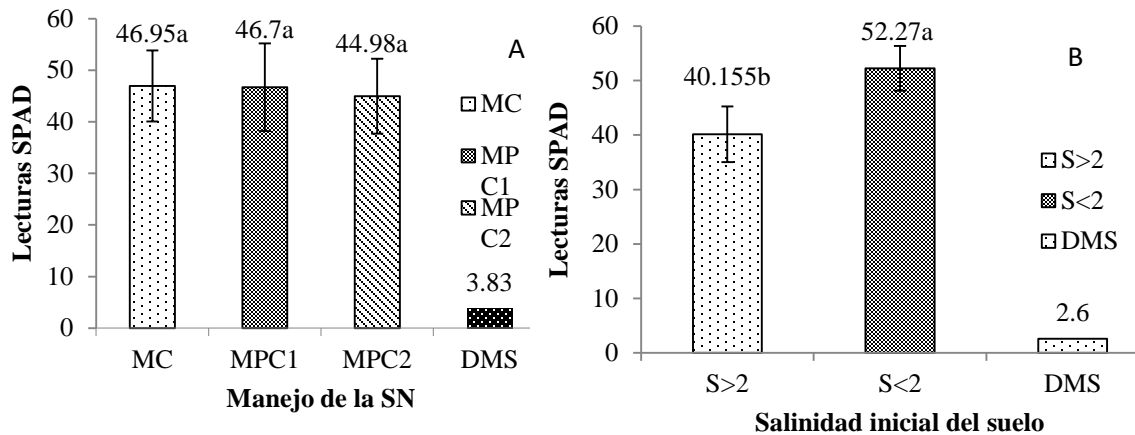


Figura 2. Lecturas SPAD de plantas de pimiento morrón bajo tres manejos de la solución nutritiva (A) y en dos condiciones de salinidad inicial de suelo (B). Valores con distinta letra sobre la barra indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

La interacción manejo de la SN y salinidad inicial del suelo fue significativa para las lecturas SPAD; el valor más alto se obtuvo en la combinación S<2 y MC. Sin embargo, no existe efecto del manejo de la SN en condición de salinidad inicial del suelo S<2 (Figura 3). Los resultados obtenidos en este experimento concuerdan con Grimaldo-Pantoja *et al.* (2017) quienes reportan que al utilizar tratamientos con elevada salinidad en plantas de pimiento inoculadas con micorrizas el verdor relativo de las plantas (SPAD) disminuye.

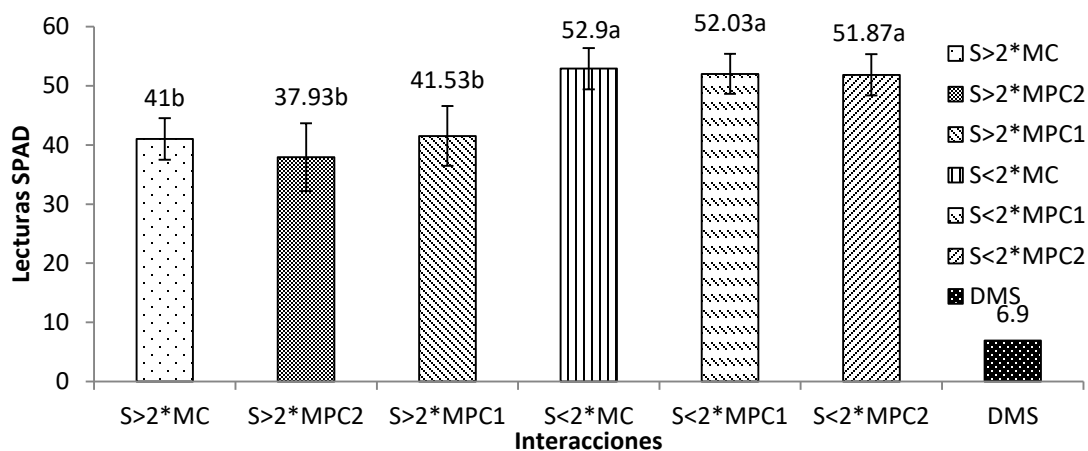


Figura 3. Lecturas SPAD por efecto de la interacción entre la salinidad inicial del suelo (S>2 y S<2) y el manejo de la solución nutritiva, manejo convencional (MC), manejo en función de la CE en la SS (MPC1), manejo en función de iones en la SS (MPC2). Valores con distinta letra en una columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

7.3 Nitrógeno Total

Las concentraciones de nitrógeno total (Nt) foliar encontradas en esta investigación fueron de 2.6 a 4.1%. Ni el manejo de la SN ni la condición de salinidad del suelo afectaron esta variable. Hanlon y Hochmuth (2000) mencionan que durante la etapa de cosecha los niveles de suficiencia de N (%) en hojas de pimiento deben encontrarse entre 3 y 4%. En este experimento los tratamientos MC y MPC1 donde la $[\text{NO}_3^-]$ en la SS fue siempre en incremento, se obtuvieron niveles dentro de los niveles mencionados, en el MPC2, donde la $[\text{NO}_3^-]$ se mantuvo por debajo o igual al intervalo de suficiencia asignado, la concentración de Nt se mantuvo por debajo del intervalo (Cuadro 11).

Yasuor *et al.* (2017) encontraron que la salinidad tiene un efecto adverso en la absorción de N más aun cuando las dosis de N aportadas son bajas. Lo anterior concuerda con lo encontrado en este experimento ya que en el suelo con la condición de salinidad alta (S>2) y el tratamiento con menor $[\text{NO}_3^-]$ aportado en SN (MPC2) se obtuvieron las más bajas concentraciones de Nt en hoja (2.65%) (Cuadro 10).

Cuadro 11. Concentración de nitrógeno total (Nt) en hojas de pimiento por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.

Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva			Media de la salinidad inicial
	MC	MPC1	MPC2	
S>2	3.31 a	3.18 a	2.65 a	3.05 A
S<2	3.82 a	4.09 a	2.92 a	3.61 A
MSN	3.56 A	3.63 A	2.78 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa ($p\text{-value}<0.05$); diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN = 1.59; Diferencia mínima significativa de SI= 0.6; diferencia mínima significativa de MSN = 1.59.

Comparando los resultados de la concentración de Nt en las hojas y las lecturas SPAD de esta investigación, se infiere que hay una relación directa de la concentración de N en hojas y su contenido de clorofila. Los tres tratamientos en el suelo con menor salinidad inicial obtuvieron lecturas SPAD y concentración de Nt más alto. Esto coincide con Padilla *et al.* (2018) quienes reportan una alta correlación ($R^2=0.85$) entre las lecturas SPAD, la dosis de fertilización nitrogenada y la concentración de clorofila.

7.4 Variables Morfológicas

7.4.1 Diámetro Basal y Apical

El diámetro basal (DB) y apical (DA) del tallo fue afectado únicamente por la condición de salinidad inicial del suelo ($p\text{-value} = 0.001$). Sin embargo, para el caso del DB el MSN y la interacción SI*MSN, obtuvieron $p\text{-value}$ muy cercanos a la significancia, 0.059 y 0.066 respectivamente. Es importante mencionarlo ya que en la prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para la interacción existe diferencia entre los tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Diámetro basal (DB) y apical (DA) del tallo de plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.

Variable	Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva			SI
		MC	MPC1	MPC2	
		-----mm-----			
		--			
DB	S>2	13.53 ab	13.68 ab	10.90 b	12.70 B
	S<2	15.13 a	14.55 a	15.16 a	14.95 A
	MSN	14.33 A	14.12 A	13.03 A	
DA	S>2	3 b	2.5 b	2.4 b	2.65 B
	S<2	4.3 a	3.7 a	4.1 a	4.05 A
	MSN	3.65 A	3.1 B	3.28 B	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p -value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN: DB=3.07 DA=0.63; Diferencia mínima significativa de SI: DB= 1.01 DA=0.17; Diferencia mínima significativa de MSN: DB = 1.62 DA=0.26.

En el suelo con condición S<2 no existe diferencia entre el manejo de la SN, debido a que en un suelo con una salinidad baja la absorción nutrimental no se afecta y el suelo ejerce un efecto amortiguador incluso cuando la CE de la SS aumenta como es el caso del MC.

En el suelo con salinidad inicial alta (S>2) se observa que los tratamientos en los que la salinidad total incrementa, MC y MPC1, el diámetro de los tallos es mayor al del MPC2 en el que CE y el contenido de iones nutrientes disminuye, podemos inferir que más que un efecto adverso por la salinidad existe un efecto positivo de la alta concentración de iones nutrientes en la SS. Yasuor *et al.* (2017) reportan resultados que concuerdan con lo encontrado en esta investigación, mencionan que, aunque no existe una interacción entre la CE y el contenido de nutrientes aplicados en una solución nutritiva, la media de biomasa

producida por plantas de pimienta aumenta con la concentración de N en la SN, sin embargo, cuando la CE aumenta la biomasa y el rendimiento disminuyen.

7.4.2 Altura de Planta y Materia Seca

La altura de la planta y materia seca (MS) fueron afectados por la condición de salinidad del suelo y por la interacción SI*MSN. Como era de esperarse en el suelo con CE menor, el S<2, las plantas ganaron mayor altura y acumularon más MS (Cuadro 13 y 14). En el caso de la altura de planta el mejor comportamiento se encontró en las plantas con MPC2 y MC en el S<2, lo cual resulta conveniente ya que el aporte de fertilizante en el MPC2 fue mínimo. Las plantas con mayor altura se obtuvieron en el S<2. En el suelo con conductividad eléctrica mayor, el S>2, no existió diferencia entre ninguno de los tipos de MSN, las alturas de todas las plantas fueron significativamente menores a las del S<2 (Cuadro 13).

Cuadro 13. Altura de plantas de pimienta morrón por efecto de la salinidad de suelo (SI), manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN

Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva (MSN)			SI
	MC	MPC1	MPC2	
S>2	86.58 b	92.69 b	89.02 b	89.43 B
S<2	107.66 a	99.27 ab	108.41 a	105.12 A
MSN	97.12 A	95.98 A	98.71 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN = 14.92; Diferencia mínima significativa de SI= 5.76; Diferencia mínima significativa de MSN = 8.5.

Aunque no se encontró diferencia entre el MSN, el suelo S<2 bajo el MPC2 obtuvo la mayor acumulación de PS, en contra parte el mismo manejo en el S>2 obtuvo la menor

acumulación de materia seca. En los dos tipos de suelo no existieron diferencias en la acumulación de MS para el MC como el MPC1, por lo tanto, el MPC2 es mejor en un suelo no salino, mientras que en un suelo con salinidad tiene la peor acumulación de MS.

Cuadro 14. Peso de la materia seca de plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad de suelo (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN

Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva (MSN)			SI
	MC	MPC1	MPC2	
	-----g/planta-----			
S>2	41.14 bc	46.96 abc	35.02 c	41.04 B
S<2	54.3 ab	50.9 ab	56.46 a	53.92 A
MSN	47.72 A	48.97 A	45.74 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN = 14.95; Diferencia mínima significativa de SI= 3.96; Diferencia mínima significativa de MSN = 5.95.

Oliveira *et al.* (2017) reporta que la materia seca del pimiento dulce aumenta cuando la dosis de N y K aumenta en el manejo de la SN en función de la CE o de la concentración de iones en el suelo, resultados similares a los obtenidos en esta investigación sin tomar en cuenta la salinidad del suelo.

7.5 Variables de Rendimiento y Calidad de Fruto

En las variables peso promedio de frutos (PPF) y peso total de frutos (PTF) cosechados por planta no se encontró efecto significativo por ninguno de los factores estudiados.

En el Cuadro 15 se observa que el peso promedio de frutos en todos los tratamientos es de más de 200 g, incluso en los tratamientos sometidos a mayor salinidad (S>2*MC y

S<2*MC). Como era de esperarse los pesos de frutos totales más altos se encontraron en el S<2, el mayor peso se obtuvo en el tratamiento MPC1 (896.94 g) no se encontraron diferencias significativas.

Estos resultados confirman la hipótesis nula y podemos inferir que cualquiera de los MSN tiene un efecto similar en una condición de suelo salina y no salina sobre parámetros de calidad relacionados al peso de frutos. En este sentido Oliveira *et al.* (2017) obtuvo resultados similares al comparar el manejo de la SS y concentración de N y K en la SS, concluyendo que cualquiera de los dos manejos puede usarse satisfactoriamente sin afectar el rendimiento ni la calidad de los frutos.

Cuadro 15. Peso promedio de frutos (PPF) y Peso total de frutos (PTF) cosechados en plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), el manejo de la solución Nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN

Variable	Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva			SI
		MC	MPC1	MPC2	
-----g/planta-----					
PTF	S>2	806.12 a	855.2 a	876.28 a	845.86 A
	S<2	944.72 a	938.48 a	884.88 a	922.69 A
	MSN	875.42 A	896.94 A	880.58 A	
PPF	S>2	209.74 a	220.24 a	220.96 a	216.9 A
	S<2	256.2 a	258.92 a	220.76 a	245.3 A
	MSN	232.97 A	239.58 A	220.86 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN: PTF=371.37 PPF=72.43; Diferencia mínima significativa de SI: PTF=154.57 PPF=28.19; Diferencia mínima significativa de MSN: PTF=229.03 PPF=41.78.

El número de frutos cosechado (NFC) y número de frutos amarrados (NFA) se presentan el Cuadro 16. No existió diferencia significativa en cuanto al NFC por efecto de la SI ni

del MSN, sin embargo, en estas variables los valores más altos se obtuvieron en el S>2, esto pudo deberse al estrés salino al que las plantas en esta condición de suelo estuvieron sometidas. Se puede observar que el 48% de los frutos amarrados se cosecharon en el S>2 mientras que en el S<2 se cosechó el 38 %, esto indica una maduración precoz bajo condiciones salinas.

Cuadro 16. Número de frutos cosechados (NFC) y número de frutos amarrados (NFA) por planta de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial de suelo (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.

Variable	Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva			SI
		MC	MPC1	MPC2	
-----frutos/planta-----					
NFC	S>2	3.9 a	3.92 a	3.94 a	3.92 A
	S<2	3.7 a	3.64 a	3.96 a	3.72 A
	MSN	3.8 A	3.78 A	3.95 A	
NFA	S>2	8.22 c	8.24 bc	7.94 c	8.13 B
	S<2	10.58 a	9.12 abc	9.8 ab	9.8 A
	MSN	9.36 A	8.68 A	8.87 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN: NFC=1.33 NFA=1.56; Diferencia mínima significativa de SI: NFC=0.55 NFA=0.51; Diferencia mínima significativa de MSN NFC=0.82 NFA=0.76.

Navarro *et al.* (2002), presentan resultados similares cuando la CE de la SN aportada a plantas de pimiento es incrementada, pero conservando una CE de iones nutrientes de 2 dS m⁻¹ y aumentando la CE total con concentraciones elevadas de Na⁺ y SO₄⁻. Reportan que cuando la CE aumenta el número de frutos cosechados aumenta, sin embargo, encontraron que también existe una pérdida de la calidad en cuanto al peso promedio y

tamaño de frutos, contrario a lo que se encontró en esta investigación pues no existió diferencia significativa en dichos parámetros de calidad.

Otras investigaciones como las de Magán *et al.* (2019), Yasuor (2017) y Gómez (1996) concuerdan con los resultados que se encontraron en la presente investigación: al incrementar la concentración de iones nutrientes con relación al Na^+ se mejora el desarrollo de la planta y la calidad de los frutos en un suelo de condición salina.

La SI del suelo tuvo un efecto significativo sobre el NFA, el suelo $S<2$ obtuvo un 15 % más de frutos amarrados que el $S>2$. El MSN no tuvo efecto significativo en esta variable (Cuadro 16).

La interacción $SI*MSN$ sí tuvo un efecto significativo sobre la variable NFA, en el $S<2$ bajo el MC se generaron la mayor cantidad de amarres (10.58), mientras que en el suelo $S>2$ la mayor cantidad de amarres se generó con el MPC1 (8.24). Aunque ninguno de los MSN generó diferencias significativas en el NFA dentro de cada condición del suelo, si relacionamos el NFA y el PPF en una proyección de rendimiento (Cuadro 17), podemos inferir que bajo el MC en un suelo no salino el rendimiento es hasta 20% más que bajo los manejos MPC1 y MPC2 entre los cuales no hay diferencia. En un suelo salino no existe diferencia entre ningún MSN, sin embargo, el valor más alto se obtuvo bajo el MPC1.

A pesar de que la CE de sales en el $S<2$ con MC fue mucho mayor que en los demás tratamientos, la cosecha proyectada (Cuadro 17) es mayor, si relacionamos estos resultados con la evolución de la CE la concentración de iones en a SS podemos observar que las $[\text{Ca}^{2+}]$ y $[\text{K}^+]$ fueron hasta dos veces más elevadas que los rangos de suficiencia propuestos, también es importante mencionar que el sodio se acumuló hasta 26.5 meq L^{-1} , una condición sumamente adversa.

Cuadro 17. Peso de frutos proyectado (PFP) al número de amarres en plantas de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial del suelo (SI), el manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.

Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva (MSN)			SI
	MC	MPC1	MPC2	
	-----g/planta-----			
S>2	1762.42 b	1813.76 b	1747.26 b	1762.48 B
S<2	2693.24 a	2363.76 ab	2150.10 ab	2402.36 A
MSN	2209.83A	2088.76 A	1948.68 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN =754.11; Diferencia mínima significativa de SI= 270.71; Diferencia mínima significativa de MSN = 401.18.

La [NO₃⁻] fue hasta tres veces más elevada que el nivel de suficiencia propuesto para esta etapa en la SS (10 meq L⁻¹). Esto concuerda con varios experimentos, donde encontraron que enriquecer la SN con K y Ca puede usarse como una estrategia para reducir el efecto de la salinidad en las plantas (Rubio *et al.*, 2009; Rubio *et al.*, 2010a; Rubio *et al.*, 2010b; Oliveira *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020).

Grattan y Grieve (1999) mencionan que la presencia de altas concentraciones de Na⁺ y Cl⁻ en la SS, pueden disminuir la actividad de los iones nutrientes mediante relaciones extremas entre Na⁺ Ca²⁺, K⁺ y Mg²⁺ y esto podría producir un aumento en la absorción de estos iones tóxicos y contribuir a su carga al xilema. La tolerancia a las sales en una planta esta usualmente asociada con la habilidad de restringir la absorción o transporte de sales toxicas de la raíz a los ápices, en este estudio la concentración de iones nutrientes en la SS en los tratamientos con mayor salinidad por [Na⁺] siempre fue mayor y no se encontraron diferencias significativas en ningún parámetro de calidad.

Los SST en frutos fueron afectados significativamente por la condición de salinidad del suelo y por la interacción de la salinidad del suelo y el MSN. El MSN por sí solo no tuvo un efecto significativo. La mayor cantidad de SST se encontró en el S<2 bajo el MPC1 seguido del MPC2, en este caso podríamos elegir cualquiera de los manejos. En el S>2 ocurrió lo contrario, los manejos MPC1 y MPC2, donde la SN se aportó con componentes correctivos los SST fueron menores al MC donde la CE de a SS llegó a los 5.72 d Sm⁻¹ (Cuadro 18).

Cuadro 18. Sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimiento morrón por efecto de la salinidad inicial (SI), Manejo de la solución nutritiva (MSN) y la interacción SI*MSN.

Salinidad inicial (SI)	Manejo de la Solución Nutritiva (MSN)			SI
	MC	MPC1	MPC2	
-----°Brix-----				
S>2	7.42 ab	7.27 ab	7.26 b	7.31 B
S<2	7.35 ab	7.68 a	7.49 ab	7.5 A
MSN	7.38 A	7.47 A	7.37 A	

Medias con distinta letra indican diferencia estadística significativa (p-value<0.05); Diferencia mínima significativa de la interacción SI*MSN =0.41; Diferencia mínima significativa de SI= 0.156; Diferencia mínima significativa de MSN = 0.235.

En este experimento se observó que la [Na⁺] en ECP incremento en los tratamientos MPC1 y MPC2 a los 90 ddt, cuando en estos tratamientos la concentración de iones nutritivos se mantuvo en los rangos de suficiencia propuestos (Cuadro 3). Estos resultados indican que los niveles de suficiencia propuestos no son suficientes para propiciar una absorción adecuada de iones nutrientes cuando el Na⁺ o la salinidad no nutriente es elevada (> 5 meq L⁻¹) y por lo tanto deben ser mayores: de acuerdo con los resultados obtenidos la [Ca²⁺] debe ser al menos dos veces mayor a la [Na⁺] y el K debe ser el doble del rango de

suficiencia propuesto (5 meq L^{-1}) en la SS. Con las condiciones anteriores presentes en el MC y el MPC1 se logró el mayor rendimiento y las mejores características de calidad de fruto.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Con los dos manejos correctivos que se utilizaron fue posible mantener los rangos de suficiencia propuestos para la solución del suelo. Mediante el uso de los manejos correctivos, ya sea en función de la conductividad eléctrica o de la concentración de iones en la solución del suelo el consumo de fertilizante fue del 60 y 30% respectivamente comparado con el manejo convencional.

En cuanto a los niveles de referencia en la solución del suelo propuestos se encontró que la concentración de NO_3^- puede ser menor a 5 meq L^{-1} durante todo el ciclo de cultivo, sin embargo, la concentración de K^+ debe ser mayor a lo propuesto, con un rango de 2 a 3 meq L^{-1} durante todo el ciclo de cultivo, siempre que el Ca^{2+} se encuentre a una concentración de 12 a 15 meq L^{-1} . Cuando la concentración de Ca^{2+} aumenta resultó adecuado mantener concentraciones más altas de los iones Ca^{2+} y K^+ en condiciones de alta salinidad

El manejo de la solución nutritiva no afectó las concentraciones de iones en el extracto celular de peciolo, excepto en el caso del Na^+ al final del experimento cuando la concentración de este ion en la solución del suelo fue mayor al Ca^{2+} y al K^+ . No se encontraron diferencias significativas en cuanto al nitrógeno total en ninguno de los factores evaluados.

Las variables morfológicas diámetro basal, diámetro apical, altura de planta y materia seca fueron mayores en el suelo con conductividad eléctrica inicial baja y con el manejo convencional. Con el manejo de la solución nutritiva en función de la concentración de iones en la solución del suelo las variables morfológicas mencionadas fueron las más bajas en el suelo con conductividad eléctrica inicial alta.

En cuanto al rendimiento, el peso total de frutos, el peso promedio de frutos y el número de frutos cosechados no existió diferencia entre ninguno de los tratamientos hasta el término de esta investigación por efecto de las variables estudiadas, por lo que se puede

concluir que tanto el manejo en función de la conductividad eléctrica como con la concentración de iones en la solución del suelo pueden ser usados sin que exista una reducción en el rendimiento.

Se encontró que, al proyectar el rendimiento con el número de frutos amarrados y el peso promedio encontrado, la mejor opción en el suelo no salino es el manejo convencional. Sin embargo, en un suelo salino no existió diferencia entre ninguno de los manejos, convencional o prescriptivos correctivos.

En conclusión, los niveles de suficiencia en la solución del suelo propuestos tienen un efecto similar, en la condición de suelo no salino, al manejo convencional y al manejo en función de la conductividad eléctrica. En un suelo con salinidad elevada, se observó que niveles de suficiencia más altos, relacionados a la concentración de Na^+ en la solución del suelo pueden mejorar la absorción nutrimental y reducir el consumo de fertilizante en condiciones de un suelo salino.

IX. LITERATURA CONSULTADA

- Aceves N., E. 2011. El Ensalitramiento de los Suelo Bajo Riego. Biblioteca Básica de Agricultura. Estado de México. 205 p.
- Arranz A., D. 2010. El Pimiento: Producción de planta y cultivo. *In*: F. Vicente-Conesa (comp.). Pimiento: Cultivo y Comercialización. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. V.A. Impresores. España. pp. 47-73
- Berrones M., M., E. Garza U., E. Vázquez G., y R. Méndez A. 2013. Producción de pimiento morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas. SAGARPA.
- Blanco F., F., and V. Folegatti M. 2002. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*. 6(3): 414-419.
- Cadahía L., C. 2008. La Sabia Como Índice de Fertilización: Cultivos Agroenergéticos, Hortícolas, Frutales y Ornamentales. Madrid: Mundi-Prensa. 258 pp.
- Cakmak I. and M. Yazici A. 2010. Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*. 94: 23-25.
- Camacho F. 2003. Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. Almería: Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. 401 p.
- Carter M., R. and G. Gregorich E. 2001. Soil Sampling and Methods of Analysis. Canada. CRC Press. 1224 p.
- Castellanos Z., J. 2004. Manual de producción hortícola en México. *In*: Manejo del Cultivo de Pimiento en Invernadero. México INTAGRI. pp. 257-293.
- Corral F., J., B. Castano S., F. Fernández M., G. García M. and L. Hernández J. 2016. Lysimetry methods for monitoring soil solution electrical conductivity and nutrient concentration in greenhouse tomato crops. *Agricultural Water Management*. 178: 171-179.
- De Souza R., M. T. Peña-Fleitas, B. Thompson R., M. Gallardo, R. Grasso, and M. Padilla, F. 2019. The use of chlorophyll meters to assess crop n status and derivation of

sufficiency values for sweet pepper. *Sensors*. 19(13): 2949. doi:10.3390/s19132949.

Díaz-Pérez J. C. 2014. Bell pepper (*Capsicum annuum L.*) crop as affected by shade level: Fruit yield, quality, postharvest attributes, and incidence of *Phytophthora* blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon). *HortScience*. 49: 891-900.

Falivene S., 2008. Soil Solution Monitoring in Australia., Australia. CRC for Irrigation Futures. 80 p.

Farneselli M., F. Tei and E Simonne. (2014). Reliability of petiole sap test for N nutritional status assessing in processing tomato. *Journal of Plant Nutrition*. 37: 270-278. doi: 10.1080/01904167.2013.859696.

Fernández M., D., C. Martínez-Gaitán, M. Gallardo R., M. Granados, and B. Thompson R. 2013. Prescriptive–corrective nitrogen and irrigation management of fertigated and drip-irrigated vegetable crops using modeling and monitoring approaches. *Agricultural Water Management*. 119: 121–134. doi:10.1016/j.agwat.2012.12.014.

Giménez C., M. Gallardo, C. Martínez-Gaitán, C. Stöckle O., R. Thompson B., and M. Granados R. 2012. VegSyst, a simulation model of daily crop growth, nitrogen uptake and evapotranspiration for pepper crops for use in an on-farm decision support system. *Irrigation Science*. 31(3): 465–477. doi:10.1007/s00271-011-0312-2.

Gómez I., N. Pedreño J., R. Moral, R. Iborra M., G. Palacios, and J. Mataix. 1996. Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. *Journal of Plant Nutrition*. 19(2): 353–359. doi: 10.1080/01904169609365126.

- Grattan S., R. and M. Grieve C. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*. 78:127–157. doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.009
- Grimaldo-Pantoja G., L., G. Niu, Y. Sun, A. Castro-Rocha, E. Álvarez-Parrilla, J. Flores-Márgez, y P. Osuna-Ávila. 2017. Efecto negativo del riego salino en componentes del rendimiento y fitoquímicos de chile (*Capsicum annuum*) inoculado con hongos micorrícicos arbusculares. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 40(2): 141-149.
- Hanlon E., A. and J. Hochmuth G. 2000. Bell Pepper. In: Campbell C. R. Reference Sufficiency Ranges for Plant Analysis in the Southern Region of the United States. SAAESD. North Carolina. pp 55-57.
- Hochmuth G., J. 2012. Plant Petiole Sap-Testing for Vegetable Crops. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/CV/CV00400.pdf>.
- Huez-López M. A., A. Ulery, L., Z. Samani, G. Picchioni, and R. Flynn P. 2011. Response of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: III. Ion uptake and translocation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(3): 765-776.
- Jiménez S., M. Plaza B., L. Segura M. and T. Lao M. 2012. Improve water and nutrient efficiency in tomato crop by a dynamic fertigation management under saline conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 43(1-2): 258-264.
- Juárez H., M., J. Baca C., G. Lorenzo A., A. Navarro A., P. Sánchez G., y M. Colinas De León, T. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*. 31(4): 246-253.
- Lao M. T., S. Jiménez, E. Eymar and E. Fernández. 2004. Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. *B. Aires. International Journal of Experimental Botany*. 73: 29–37.

- Lee J., J. and M. Crosby K. 2005. Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Scientia Horticulturae*. 106(3): 341–352. doi: 10.1016/j.scienta.2005.04.008.
- Magán J., J., M. Gallardo, D. Fernández M., L. García M., R. Granados M., M. Padilla F., and B. Thompson R. 2019. Showcasing a fertigation management strategy for increasing water and nitrogen use efficiency in soil-grown vegetable crops in the FERTINNOWA project. *Acta Horticulturae*. 1253: 17–24. doi:10.17660/actahortic.2019.1253.3
- Marschner P. 2011. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition ed. Germany: Academic Press. 672 p.
- Martínez-Martínez E. 2010. *Sondas lisimétricas de succión como herramientas edáficas claves en métodos dinámicos de control y seguimiento del sistema suelo planta agua*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias.
- Maathuis F., J. M. 2006. The role of monovalent cation transporters in plant responses to salinity. *Journal of Experimental Botany*. 57: 1137–1147. doi: 10.1093/jxb/erj001
- Mendoza-Tafoalla R., O. Juárez-López, R. Ontivero-Capirata, M. Sandoval-Villa, I. Alia-Tejacal, and G. Alejo-Santiago. 2019. Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and atLeaf readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. 47(3):751-756. doi: 10.15835/nbha47311525.
- Moreno P., E., R. Mora A., F. Sánchez del C., y V. García-Pérez. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17(2): 5-18.

- Navarro J., M., C. Garrido, M. Carvajal, and V. Martínez. 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 77: 52-57. doi:10.1080/14620316.2002.11511456.
- Oliveira F., A., N. Duarte S., F. Medeiros J., J. Lima C., K. Oliveira M., and C. Silva R. 2017. Improving sweet pepper yield and quality by means of fertigation management. *Horticultura Brasileira*. 35(2): 235-241.
- Padilla F., M., R. De Souza, M. Peña-Fleitas, M. Gallardo, C. Giménez, and B. Thompson R. 2018. Different responses of various chlorophyll meters to increasing nitrogen supply in sweet pepper. *Frontiers in Plant Science*. 9: 1752. doi: 10.3389/fpls.2018.01752.
- Raj-Hoffman I., D. Jacques, and N. Lazarovitch. 2020. Suction cup system-dependent variable boundary condition: Transient water flow and multicomponent solute transport. *Vadose Zone Journal*. 19(1): 1-13.
- Rhoades J., D., F. Chanduvi and S. Lesch. 1999. *Soil Salinity Assessment. Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements*. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper. 323 p.
- Rubio J., S., F. Garcia-Sanchez, F. Rubio and V. Martínez. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae*. 119(2): 79-87.
- Rubio J., S., F. Sánchez G., M. Fernández-Villamil, J. Acosta M. and V. Martínez. 2010a. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilization with Ca²⁺ and K⁺. *Spanish Journal of Agricultural Research*. (1): 170-177.
- Rubio J., S., F. García-Sánchez, F. Rubio, L. García A. and V. Martínez. 2010b. The importance of K⁺ in ameliorating the negative effects of salt stress on the growth of pepper plants. *European Journal of Horticultural Science*. 75(1): 33-41.

- Russo M., V. 2012. Peppers: Botany, Production and Uses. Cambridge USA: CABI. 280 p.
- Sánchez G., P., 2017. Preparación de soluciones concentradas de fertilizantes de acuerdo con la compatibilidad. México. FIRA.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 09 de febrero de 2021. Página electrónica: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Silva P., D., D. Oliveira, F., P. Oliveira A., F. Medeiros J., D. Alves R. and I. Paiva F. 2020. Bell pepper production under saline stress and fertigation with different K^+/Ca^{2+} ratios in a protected environment. *Acta Scientiarum Agronomy*. 42. doi: 10.4025/actasciagron.v42i1.42498.
- Sonneveld C. and W. Voogt. 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Netherlands: Springer. 431 pp. doi: 10.1007/978-90-481-2532-6.
- Tang R., J., and Luan S. 2017. Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. *Current Opinion in Plant Biology*. 39: 97–105. doi: 10.1016/j.pbi.2017.06.009.
- Tei F., S. Nicola and P. Benincasa. 2017. Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. *Advances in Olericulture*. 302 pp. doi: 10.1007/978-3-319-53626-2.
- Thompson R., B., L. Incrocci. W. Voogt, A. Pardossi and J. Magán J. 2015. Sustainable irrigation and nitrogen management of fertigated vegetable crops. *Acta Horticulturae*. 1150: 363–378. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1150.52.
- Van-Esch H., 2015. Focused Fertilization requires knowledge, insight and experience. In *Greenhouses*. p. 5.

- Vera A., L. A., 1997. Fertirrigación del Pimiento dulce en Invernadero. Namesmy A. Pimientos Barcelona. pp. 45-52.
- White P., J. and R. Broadley M. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92(4): 487-511.
- Yasuor H., Tamir G., Stein A., Cohen S., Bar-Tal A., Ben-Gal A., and Yermiyahu U. 2017. Does water salinity affect pepper plant response to nitrogen fertigation? *Agricultural Water Management*. 191: 57–66. doi: 10.1016/j.agwat.2017.05.012.
- Zhu J., Tremblay T., and Liang Y. 2012. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*. 92(4): 645–648. doi: 10.4141/cjss2011-100.