

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE POTASIO
EN PLANTAS DE TOMATE BAJO ESTRÉS SALINO

Tesis

Que presenta VICTOR SAUL AGUILAR ZULUAGA

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

RESPUESTA A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE POTASIO
EN PLANTAS DE TOMATE BAJO ESTRÉS SALINO

Tesis

Elaborada por VICTOR SAUL AGUILAR ZULUAGA como requisito parcial para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Director de Tesis



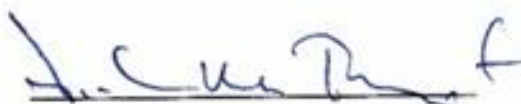
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor



Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor



Dr. Victor Manuel Parga Torres

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado

UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi formación profesional y poder concluirlo. Agradezco el apoyo incondicional en todos los aspectos de mis padres Fredy Aguilar Herrera y Martina Zuluaga Contreras que siempre han estado para mí cuando los necesito, apoyando cada una de mis decisiones.

Agradezco a mi hermano Ezequiel Aguilar Zuluaga por siempre apoyarme moral y económicamente, siempre ha sido un ejemplo para mí, por lo que siempre estaré agradecido.

Agradezco a mi abuela Rosa María Contreras Aguilar por todo el apoyo y amor brindado hacia mí.

Agradezco en particular al Dr. Homero por el apoyo brindado para desarrollar el trabajo de investigación, así como la guía y libertad para el desarrollo de este.

A Carlos Rodríguez Cisneros por el apoyo brindado durante la investigación.

A la Dra. Susana Solís Gaona por darme la oportunidad de trabajar con el equipo de investigación de UPL.

A todo el núcleo de ISP por el aporte a mi formación académica y profesional.

A SECIHTI por el apoyo brindado durante mi tiempo en la maestría.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a las cuatro personas más importantes para mí:

A mi padre Fredy Aguilar Herrera.

A mi madre Martina Zuluaga Contreras.

A mi hermano Ezequiel Aguilar Zuluaga.

A mi abuela Rosa María Contreras Aguilar.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	iii
Dedicatorias.....	iv
Índice.....	v
Lista de figuras	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
Introducción	1
Revisión de literatura	2
Salinidad.....	2
Actividad antioxidante	4
Blossom End Rot (BER).....	5
Cloruro de potasio	5
Justificación.....	7
Objetivos	7
General.....	7
Específicos.....	7
Hipótesis.....	7
Materiales y métodos	8
Sitio experimental.....	8
Material vegetal y condiciones de siembra	8
Tratamientos y diseño experimental	8
Variables fisiológicas y bioquímicas	9
Conductancia estomática	9
Contenido de clorofila.....	9
Composición iónica del extracto celular de peciolo	9
Frutos afectados por Blossom End Rot	9
Actividad antioxidante	10
Peso seco de raíz	10
Análisis estadístico.....	10

Resultados	11
Discusión.....	17
Conclusiones	21
Literatura citada	22

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** .- Concentración de calcio en peciolo, concentración de potasio en peciolo, podredumbre apical de fruto.....13
- Figura 2** .- Concentración de nitrato en peciolo, clorofila total en hoja de tomate, cantidad de actividad antioxidante en hoja (DPPH).....15
- Figura 3** .- Conductancia estomática, sodio en peciolo, peso seco de raíz.....17

RESUMEN

RESPUESTA A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE POTASIO
EN PLANTAS DE TOMATE BAJO ESTRÉS SALINO.

POR

VICTOR SAUL AGUILAR ZULUAGA

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ASESOR-

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

La salinidad en la horticultura mundial es un problema severo que afecta la productividad y calidad de las cosechas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de KCl en soluciones nutritivas preparadas con agua purificada y agua dura en plantas de tomate. Se utilizaron soluciones de Steiner con adiciones de 3, 6 y 9 mmol de KCl, tanto en agua purificada como en agua dura. Se midieron concentraciones de calcio, potasio y sodio en pecíolo, incidencia de pudrición apical del fruto (BER), contenido de nitrato, clorofila total (SPAD), actividad antioxidante (IC50), conductancia estomática y peso seco de raíz.

Los resultados indicaron que el tratamiento con 3 mmol de KCl en agua purificada promovió mayores niveles de potasio, mejor conductancia estomática, mayor biomasa radicular y menor actividad antioxidante (menor IC50), lo que sugiere menor estrés oxidativo. La acumulación de sodio fue más pronunciada en los tratamientos con agua dura, aunque sin comprometer severamente la fisiología vegetal, posiblemente por mecanismos de compartimentación o exclusión iónica. Se observó una relación inversa entre el contenido de calcio en pecíolo y la incidencia de BER, especialmente en tratamientos con mayores concentraciones de KCl, sugiriendo un antagonismo entre K^+ y Ca^{2+} . La clorofila total fue mayor en plantas tratadas con soluciones preparadas en agua purificada, reflejando una mejor eficiencia fotosintética bajo condiciones de menor dureza y óptimo suministro de K.

Palabras clave: Salinidad, KCl, tolerancia, crecimiento.

ABSTRACT

RESPONSE TO DIFFERENT CONCENTRATIONS OF CHLORINE IN THE FORM
OF POTASSIUM CHLORIDE IN TOMATO PLANTS (SOLANUM LYCOPERSICUM
L.) SUBJECTED TO NON-SODIUM SALT STRESS.

BY

VICTOR SAUL AGUILAR ZULUAGA

MASTER OF SCIENCE IN PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ADVISOR-

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

Salinity in global horticulture is a severe problem that negatively impacts crop productivity and quality. The aim of this study was to evaluate the effect of different concentrations of KCl in nutrient solutions prepared with purified and hard water on tomato plants. Steiner solutions supplemented with 3, 6, and 9 mmol of KCl were used in both water types. Calcium, potassium, and sodium concentrations in petioles were measured, along with the incidence of blossom end rot (BER), nitrate content, total chlorophyll (SPAD), antioxidant activity (IC₅₀), stomatal conductance, and root dry weight.

The results indicated that the treatment with 3 mmol of KCl in purified water promoted higher potassium levels, improved stomatal conductance, increased root biomass, and lower antioxidant activity (lower IC₅₀), suggesting reduced oxidative stress. Sodium accumulation was more pronounced in treatments with hard water, although it did not severely affect plant physiology, possibly due to ionic exclusion or compartmentalization mechanisms. An inverse relationship was observed between calcium content in petioles and BER incidence, especially under higher KCl concentrations, suggesting an antagonism between K⁺ and Ca²⁺. Total chlorophyll was higher in plants treated with solutions prepared with purified water, reflecting improved photosynthetic efficiency under conditions of lower water hardness and optimal K supply.

Keywords: Salinity, KCl, tolerance, growth.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la salinidad es un severo problema que afecta al sector agrícola, siendo los lugares con escasas de agua los que se ven más afectados. Generando drásticos problemas como el estrés osmótico y oxidativo, así como toxicidad iónica. Manifestándose en la reducción de rendimiento de cultivos (Faisal Alharby, 2021). Para regar cultivos hortícolas con agua salina en condiciones de ambientes áridos, es necesario la aplicación de un manejo adecuado para no afectar de manera negativa las características fisicoquímicas del suelo (Haj-Amor et al., 2018).

La salinización en los suelos se debe a la acumulación de distintas sales inorgánicas como el sodio y el calcio, así como el carbonato, cloruro y sulfato. Sus niveles de toxicidad en plantas dependerán en gran medida de la concentración que se encuentre presente (Litalien & Zeeb, 2020).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) al ser cultivado en suelos salinos se encuentra propenso a una disminución de su rendimiento. Esto debido a que es glicófita, y de sensibilidad media a la salinidad (Goykovic Cortés & Saavedra Del Real, 2007). A nivel global, es una hortaliza de gran importancia no solo económicamente, si no por sus propiedades nutrimentales que aporta al ser humano. El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en México es de gran importancia, debido a que el 70 % de la producción de cultivos bajo condiciones de agricultura protegida, corresponde al tomate (Juárez-Maldonado et al., 2015). El crecimiento tanto vegetativo como reproductivo del tomate se ve afectado debido a la salinidad, mostrando reducción en floración y afectando la maduración.

El cloruro de potasio (KCl) es uno de los fertilizantes más utilizados en la agricultura para suplir las necesidades de potasio de las plantas. Sin embargo, su uso excesivo puede contribuir a la salinidad del suelo. El KCl se disuelve fácilmente en agua y puede acumularse en el suelo, afectando la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas. A pesar de sus beneficios como fertilizante, es crucial manejar su aplicación de manera adecuada para evitar problemas de salinidad.

Por lo que el objetivo del presente trabajo es la evaluación de KCl para obtener información sobre las concentraciones a las que le permite al tomate desarrollar de manera óptima evitando el uso excesivo de fertilizantes.

REVISIÓN DE LITERATURA

Salinidad

Debido al constante cambio climático a nivel global, el crecimiento vegetal se ve comprometido debido al estrés abiótico. Las diversas condiciones de estrés a las que las plantas son sometidas alteran de manera distinta las actividades fisiológicas limitando la activación de los mecanismos de defensa, lo que las vuelve vulnerables. Ya sea que se presente de manera individual o combinada junto a otro tipo de estrés, se altera el transporte normal de solutos, causando fuga de electrones y produciendo a la par especies reactivas de oxígeno (ROS), lo cual genera estrés en la planta (Raza et al., 2022).

El cambio climático en este sentido afecta negativamente la frecuencia y la intensidad de las condiciones medioambientales extremas en regiones áridas y semiáridas, conduciendo a lluvias torrenciales, temperaturas elevadas y periodos prolongados de sequía (Nabinejad & Schüttrumpf, 2023).

Los suelos que presentan afectación por salinidad contienen una mayor cantidad de carbonato de calcio y yeso dificultando a las plantas un crecimiento óptimo. En su mayoría, los suelos que ven afectados debido a las altas concentraciones de sales son clasificados como Solonchaks, los cuales presentan una conductividad eléctrica mayor a 4 Ohms/cm. La asimilación de nutrientes se ve afectado por la presencia de sales, así como la actividad microbiana del suelo (FAO, 2025). La salinidad es uno de los factores abióticos de gran importancia debido a su afectación negativa tanto en brotación, desarrollo, rendimiento y calidad de los cultivos. Alterando la homeóstasis iónica, diversos procesos metabólicos y el equilibrio osmótico (Dou et al., 2025).

Las pérdidas de las cosechas llegan hasta un 50% debido a la salinidad, lo cual genera gran incertidumbre debido a la inestabilidad de la seguridad alimentaria global que esto genera. A través de un proceso de evolución, las plantas han desarrollado diversos mecanismos de defensa para contrarrestar los efectos debido al exceso de sales (Urias-Salazar et al., 2022).

El tomate es un cultivo sensible y la acumulación de NaCl en la rizosfera induce la disminución longitudinal significativa de las raíces además del cierre estomático comprometiendo así la fotosíntesis. Aún con esto, el sistema radicular muestra plasticidad a las altas concentraciones en la que los brotes secundarios disminuyen en zonas de alta salinidad pero se expanden a zonas más profundas para evitar el contacto directo (Gandullo et al., 2021).

Dentro de los elementos esenciales que necesitan los cultivos para su crecimiento, el nitrógeno es uno de los más requeridos y por ello su importancia se conoce sus niveles dentro de la planta y conocer su relación con biomasa y producción de clorofila (Mendoza-Tafolla et al., 2022). El contenido total de clorofila dentro de la planta es una variable de vital importancia dentro de la fisiología debido a que de ello depende el potencial fotosintético en gran parte (Ramírez-Bernal et al., 2021).

Para que los cultivos puedan expresar al máximo su rendimiento se requieren de varios factores tanto externos como internos, el clima, suelo, temperatura, técnicas de producción y las condiciones nutrimentales. Este último limita el rendimiento a pesar de que puede ser controlado. La concentración de nutrientes es común que cambie en los cultivos y esto va a depender las variedades, época del año y momento de muestreo entre otros para poder hacer un correcto diagnóstico nutrimental y generar un plan de fertilización adecuado (Flores-Bernal et al., 2021).

Los dos tipos de estrés directos causados por la salinidad a las plantas son el estrés iónico y el estrés osmótico o estrés por déficit hídrico. Aunado a estos tipos de estrés se encuentra el estrés nutricional, el cual se debe un desbalance entre nutrientes como el sodio y el cloro, los cuales interfieren con la absorción de otros elementos como el calcio el nitrato y el potasio. Un elevado contenido de sales disueltas en el suelo disminuye el potencial hídrico, lo cual se traduce a una menor absorción hídrica por parte del sistema radicular de las plantas. Lo anterior generara problemas bioquímicos dentro de la planta como la

reducción de la fotosíntesis lo que a la par generara un desequilibrio nutrimental (Lu & Fricke, 2023).

En cultivos como el pimiento se ha demostrado que es de vital importancia ajustar adecuadamente los fertilizantes a utilizar en función de la temperatura. La falta de calcio puede no ser la única razón causal de BER, ya la interacción de diferentes concentraciones de otros elementos también es un factor por considerar. Al realizar un énfasis ionómico de fruta proporcionara una evaluación más concisa del rol nutricional. Lo cual puede generar un esquema de predicción de BER lo cual contribuiría en una estabilización de producción de los cultivos y mejorando el uso de las fuentes fertilizantes y un manejo más sustentable (Arakawa et al., 2021).

Actividad antioxidante

Para mejorar la tolerancia al estrés abiótico es necesario fortalecer el sistema antioxidante de las plantas para que sea capaz de neutralizar las especies reactivas de oxígeno las cuales son acumuladas ante condiciones desfavorables (M. Sun et al., 2024).

Las diferentes especies reactivas de oxígeno (ROS) generan un estrés oxidativo el cual comúnmente genera daños a nivel celular en plantas expuestas a diferentes tipos de estrés. La agricultura antioxidante como estrategia integral para la resistencia al estrés se a introducido como un nuevo concepto de agricultura. Abarca distintos enfoques que van desde la aplicación agentes antioxidantes, prácticas agronómicas, inoculación microbiana hasta la ingeniería genética, con lo que se pretende reforzar el sistema antioxidante de la planta y mitigar los efectos por estrés oxidativo (Y. Sun et al., 2024).

El tomate es una fuente valiosa de antioxidantes y rol es importante en la prevención del estrés oxidativo. Dentro de la fruta del tomate se encuentran distintas moléculas antioxidantes como al ácido ascórbico, carotenoides, ácidos fenólicos, flavonoides, vitaminas C y E. El contenido de antioxidantes y la capacidad antioxidante en productos procesados de tomate están directamente relacionados con las técnicas de procesamiento (Bianchi et al., 2023).

Blossom End Rot (BER)

La podredumbre apical o BER en hortalizas es un trastorno fisiológico devastador a nivel mundial. Dentro de las causas de este trastorno se encuentran la alteración de calcio, homeostasis y condiciones irregulares de riego (Topcu et al., 2022).

Los tomates afectados por BER muestran podredumbre en la base de los frutos tanto jóvenes como maduros. La posibilidad de que esto ocurra es mayor en periodos alternos de estaciones secas y lluviosas (Sarijan et al., 2025).

Las frutas que presentan trastornos de BER presentan deficiencias de calcio y concentraciones de calcio más bajas. De igual manera los cultivos con una nutrición deficiente de calcio tienden a presentar una mayor cantidad de frutos dañados. La podredumbre apical (BER) en tomate puede causar una reducción de hasta un 500% de la producción bajo condiciones de estrés (Al Hosni et al., 2024).

En las plantas se muestran distintos trastornos fisiológicos que no se deben precisamente a la falta de nutrientes, sino que están relacionados con diversos factores medioambientales, factores como la humedad relativa, temperatura y radiación. Uno de los trastornos más comunes en hortalizas es la podredumbre apical o Blossom End Rot (BER), trastorno donde la influencia de fluctuaciones del nivel de salinidad, humedad del suelo y altas temperaturas son precursores (Birlanga et al., 2022).

Cloruro de potasio (KCl)

Otro de los elementos necesarios por las plantas para su óptimo desarrollo es el potasio, es considerado el segundo elemento más importante después del nitrógeno. Al menos 60 enzimas en promedio requieren del potasio para ser activadas dentro de la planta donde su papel como regulador es crucial. Es uno de los elementos que proporciona asistencia en contra de los diferentes tipos de estreses medioambientales (Johnson et al., 2022).

Para la producción de tomate como cultivo protegido es necesario un manejo entre la solución nutritiva y la estrecha relación con las condiciones ambientales del entorno. Dentro de la solución nutritiva pueden presentarse desbalances entre los iones de calcio y potasio. Mientras que el flujo de la savia que los transloca está relacionado a los factores

de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y el déficit de presión de vapor (Salas-Rivera et al., 2020).

Existen plantas tolerantes a la sal, las cuales son denominadas halófitas y tienen la capacidad para eliminar el sodio que se encuentre de manera excesiva en las hojas mediante glándulas secretoras de sal o mediante estructuras adaptadas fisiológicamente a la salinidad. Pero la mayoría de los cultivos se clasifican como glicofitas, que presentan mayor sensibilidad a la sal y tienden a la pérdida de potasio en condiciones salinas, esto en gran medida, por la competencia con el sodio (Wang et al., 2024).

JUSTIFICACIÓN

La salinidad es un factor que afecta directamente el desarrollo de los cultivos a nivel global, afectando la absorción de elementos esenciales para las plantas y limitando así su máxima expresión. El cultivo de tomate en México ha mostrado una reducción en el rendimiento como resultado de un aumento de la salinidad, principalmente por un uso excesivo de fertilizantes. Por ello se evaluará en el cultivo de tomate el efecto de distintas concentraciones de cloruro de potasio ante condiciones salinas.

OBJETIVOS

General.

Evaluar efectos del cloruro de potasio en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sometido a distintos niveles de salinidad.

Específicos.

Evaluar tres concentraciones de cloruro de potasio (3, 6 y 9 mmol) en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sometido a estrés salino.

Evaluar el efecto del cloruro de potasio en dos tipos de agua (agua purificada y agua de pozo) en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sometido a estrés salino.

HIPÓTESIS

El cloruro de potasio en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) proporciona tolerancia a la salinidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

El experimento fue establecido en octubre de 2024 en las instalaciones de la empresa UPL Open AG Ramos Arizpe, ubicada en Ramos Arizpe, Coahuila, México (25° 33' 31.2" N, 100° 55' 27.7" W). El estudio se llevó a cabo en un invernadero de alta tecnología que permitió controlar las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo del cultivo.

Material Vegetal y Condiciones de Siembra

Se utilizó semilla de tomate de crecimiento determinado tipo *Saladette*, variedad SV3543TE de la empresa Seminis. La siembra se realizó en el estadio principal 0, 000 en la escala BBCH (Sistema estandarizado que describe el desarrollo fenológico de las plantas de manera precisa mediante código numérico), en dos charolas plásticas negras de 77 cavidades cada una, utilizando sustrato comercial BM 2 EURO Berger.

El trasplante se efectuó a los 23 días después de la siembra (DDS), en el estadio 1 (102 BBCH), en macetas plásticas negras de 11.36 L de capacidad. El sustrato consistió en una mezcla de peat moss (BM 2 EURO Berger), perlita (Termolita HORTIPERL) y vermiculita (VERMILITA VERLITE) en una proporción 3:2:1. Las macetas fueron dispuestas sobre mesas de 1 m de ancho por 3 m de largo y 1 m de altura, con tres plantas por metro lineal, alcanzando un total de 120 plantas.

Tratamientos y Diseño Experimental

El tratamiento nutricional se inició a los 11 días después del trasplante (103 BBCH), empleando soluciones basadas en la fórmula universal de Steiner. Se aplicaron tres concentraciones de cloruro de potasio (KCl): 3, 6 y 9 mmol, disueltas en dos tipos de agua: agua purificada y agua de pozo sin neutralizar, generando así seis tratamientos experimentales más dos testigos (uno por tipo de agua sin KCl).

El diseño experimental correspondió a bloques completos al azar con un arreglo factorial 3×2 , donde: Factor A: Concentración de cloruro de potasio (3, 6, 9 mmol), Factor B: Tipo de agua (purificada o dura).

Durante la fase vegetativa, cada maceta recibió 0.5 L de solución diaria, evitando lixiviación para promover la acumulación de sales en la rizosfera. A partir del estadio reproductivo (503 BBCH), se ajustó la solución y se aumentó el riego a 1 L por maceta por día.

VARIABLES FISIOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS

Conductancia estomática

Se midió con un porómetro (LI-COR, LI-600N, Estados Unidos) bajo condiciones ambientales controladas (humedad relativa, radiación y temperatura). Las lecturas se tomaron en un foliolo de la tercera hoja desarrollada más joven (603 BBCH), en un total de 64 plantas seleccionadas aleatoriamente.

Contenido de clorofila

Se utilizó un medidor de clorofila (Falker, clorofiLOG CGL2060, Brasil). Por cada planta ($n = 120$), se realizaron tres mediciones en foliolos distintos de la tercera hoja desarrollada más joven (603 BBCH), y se calculó un promedio por planta.

Composición iónica del extracto celular del pecíolo (ECP)

Se realizó para determinar los niveles de nitrato (NO_3^-), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y sodio (Na^+). Se utilizó el kit de muestreo nutrimental (Horiba, Laquatwin, Japon). Se cortó la tercera hoja madura más joven (604 BBCH), se eliminaron los foliolos y se extrajo el jugo del pecíolo utilizando un macerador de ajo (DOSNTO, YostyleAusein, China). El extracto se analizó con medidores individuales y se utilizaron jeringas limpias para evitar contaminación entre muestras.

Frutos afectados por Blossom End Rot (BER)

Se realizó un conteo manual de frutos con daño por pudrición apical (BER) a los 93 días después del trasplante (605 BBCH).

Actividad antioxidante

Se evaluó en la tercera hoja madura más joven (605 BBCH) utilizando la técnica del radical DPPH descrita por (Brand-Williams et al., 1995) mediante espectrofotometría. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro (Bio-Tek Instruments, ELx800, Estados Unidos).

Peso seco de raíz

Se determinó a los 138 días después del trasplante, luego de la cosecha y secado de raíces el cual fue durante tres días a 60° C en un horno de secado.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico mediante el software **SAS**, utilizando prueba de comparación de medias de Duncan con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para evaluar las diferencias significativas entre tratamientos.

RESULTADOS

Contenido de Calcio, Potasio y Daño por Pudrición Apical (BER)

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos en las variables de contenido de calcio, potasio y la incidencia de frutos afectados por Blossom End Rot (BER).

Calcio

El contenido de calcio en pecíolos fue mayor en los tratamientos con 3 y 6 mmol de KCl en agua pozo en comparación con el testigo (solución Steiner). Sin embargo, el tratamiento con 9 mmol en agua dura no mostró diferencias significativas con respecto al testigo, indicando una posible saturación o antagonismo iónico a concentraciones elevadas.

En tratamientos con agua purificada, los niveles de calcio en 3 y 6 mmol de KCl se mantuvieron similares a los del testigo, mientras que el tratamiento con 9 mmol en agua purificada presentó una disminución significativa, registrando los valores más bajos entre todos los tratamientos (Figura 1A). Este resultado sugiere que concentraciones altas de KCl en agua con baja mineralización pueden interferir negativamente con la absorción de calcio.

Potasio

En cuanto al contenido de potasio, se observó un patrón inverso. La mayor concentración se encontró en el tratamiento con 9 mmol de KCl en agua purificada, mientras que los tratamientos testigo (Steiner en agua purificada y de pozo) mostraron las concentraciones más bajas. En agua de pozo, el contenido de potasio aumentó progresivamente con el incremento de la concentración de KCl, confirmando la efectividad de las soluciones aplicadas en aportar este ion a las plantas (Figura 1B).

Daño por BER (Blossom End Rot)

El número de frutos con daño por pudrición apical (BER) fue significativamente mayor en los tratamientos con **9 mmol de KCl** en agua purificada, así como en agua de pozo con 6 y 9 mmol, sin que hubiera diferencias significativas entre estos tres tratamientos. En

contraste, los valores más bajos de frutos dañados se registraron en los tratamientos testigo (Steiner en agua purificada y de pozo), así como en los tratamientos con 3 mmol de KCl en ambos tipos de agua (Figura 1C).

Estos resultados sugieren una posible relación entre el exceso de potasio y la disminución en la absorción de calcio, lo cual estaría favoreciendo la aparición de BER, condición fisiológica estrechamente asociada a deficiencias de calcio en frutos en desarrollo.

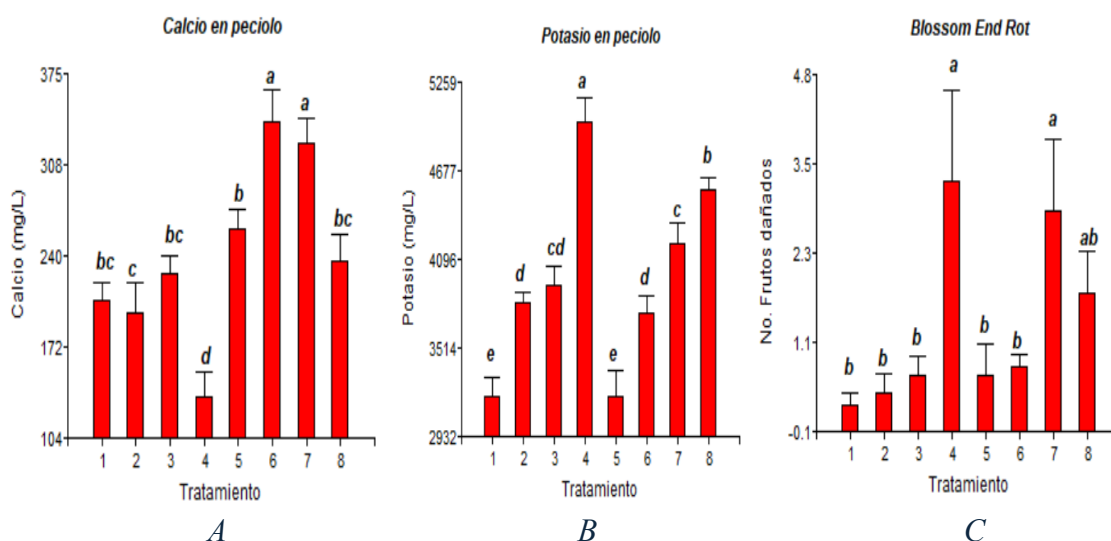


Figura 1. A) Concentración de calcio en peciolo. B) Concentración de potasio en peciolo. C) Podredumbre apical de fruto. Mismas letras en columnas son estadísticamente iguales según la prueba de comparación Duncan de rango múltiple ($\alpha = 0.05$)

Contenido de Nitrato en Peciolo

El análisis de nitrato en peciolo reveló diferencias significativas entre tratamientos. Las concentraciones de 3 y 6 mmol de KCl en agua purificada presentaron los valores más altos de nitrato, estadísticamente iguales ($\alpha = 0.05$) al tratamiento testigo con solución Steiner en agua purificada. En contraste, la aplicación de 9 mmol de KCl en agua purificada provocó una disminución significativa del contenido de nitrato, siendo inferior al testigo y estadísticamente similar a los valores observados en todos los tratamientos con agua de pozo.

En general, los tratamientos con KCl en agua dura no mostraron diferencias significativas entre sí, ni con respecto a los testigos en ambos tipos de agua ($\alpha = 0.05$), lo que sugiere que el tipo de agua podría influir en la retención o absorción de nitrato en interacción con las concentraciones de KCl aplicadas (Figura 2A).

Contenido de Clorofila

El contenido de clorofila, evaluado mediante mediciones indirectas por foliolo, mostró una reducción significativa ($\alpha = 0.05$) en las tres concentraciones de KCl aplicadas en agua purificada, en comparación con el tratamiento testigo (Steiner en ambos tipos de agua). En contraste, los tratamientos con KCl en agua dura no presentaron diferencias significativas con respecto a los testigos, indicando un efecto estabilizador de la dureza del agua en la producción de clorofila bajo estrés salino.

Este patrón sugiere que la interacción entre la concentración de KCl y la calidad del agua podría alterar la eficiencia fotosintética, particularmente en medios con baja dureza iónica (Figura 2B).

Actividad Antioxidante

Se observaron diferencias significativas en la actividad antioxidante ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos, especialmente en los aplicados en agua purificada. La concentración de 9 mmol de KCl presentó los valores más altos de actividad antioxidante, seguida de 6 mmol, ambas en agua purificada. Se observó una tendencia ascendente en la actividad antioxidante proporcional al aumento de concentración de KCl, lo que podría indicar una respuesta fisiológica al estrés osmótico inducido por la mayor carga salina.

El tratamiento con Steiner en agua purificada mostró los niveles más bajos de antioxidantes, y ninguno de los tratamientos con KCl en agua de pozo presentó disminuciones significativas con respecto a los testigos (Figura 2C). Esto sugiere que el tipo de agua y el incremento en la salinidad influyen directamente en la activación del sistema antioxidante como mecanismo de defensa en las plantas de tomate.

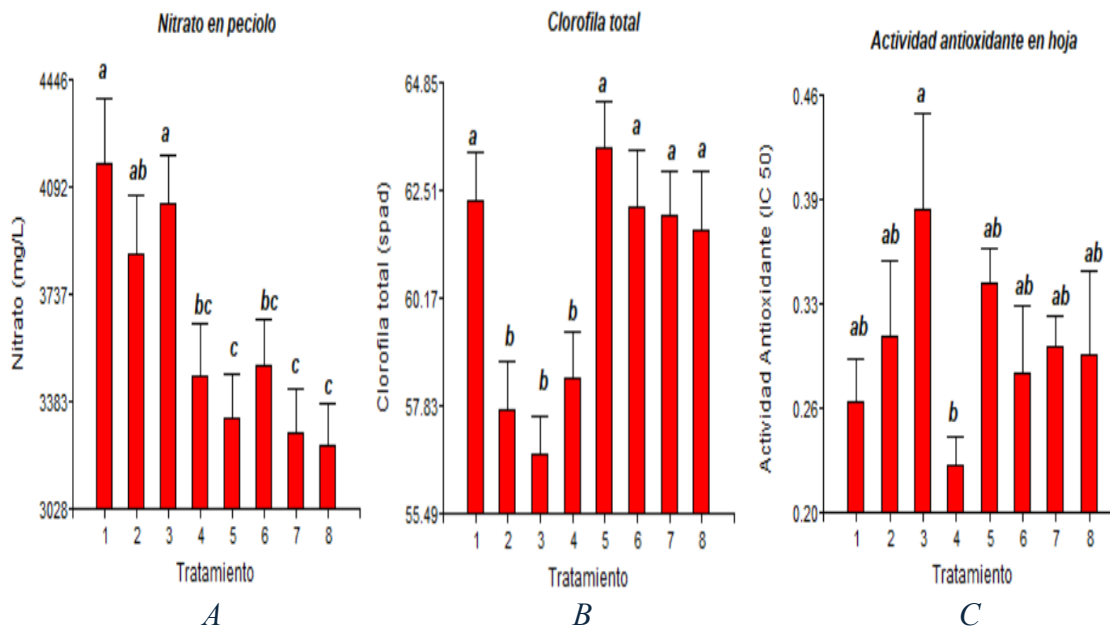


Figura 2. A) Concentración de nitrato en peciolo, B) Clorofila total en hoja de tomate, C) Cantidad de actividad antioxidante en hoja (DPPH). Mismas letras en columnas son estadísticamente iguales según la prueba de comparación Duncan de rango múltiple ($\alpha = 0.05$)

Conductancia Estomática

Los valores de conductancia estomática mostraron diferencias entre tratamientos. El tratamiento con 6 mmol de KCl en agua purificada presentó los niveles más bajos de conductancia estomática, significativamente inferiores al tratamiento testigo con Steiner en agua purificada ($\alpha = 0.05$), lo que indica una posible respuesta al estrés osmótico. Por otro lado, Steiner en agua de pozo mostró valores estadísticamente similares a todos los tratamientos restantes (en ambos tipos de agua), lo que sugiere que la variación en la apertura estomática no fue significativa bajo condiciones de agua de pozo (Figura 3A). Esta reducción en la apertura estomática en el tratamiento con 6 mmol podría relacionarse con una estrategia de conservación hídrica de la planta ante condiciones salinas inducidas por la fertilización con KCl.

Contenido de Sodio en Peciolo

El contenido de sodio (Na^+) en los peciolo presentó sus valores más altos en los tratamientos con 3 y 6 mmol de KCl en agua de pozo, siendo significativamente superiores ($\alpha = 0.05$) a los observados en los tratamientos testigo (Steiner en agua purificada y de

pozo). Esto sugiere que el uso de agua de pozo en combinación con KCl favorece la acumulación de sodio en el tejido vegetal, probablemente debido a la composición iónica del agua y a la menor movilidad del sodio en sustratos con menor lixiviación.

En los tratamientos con agua purificada, se observó una tendencia ascendente en los niveles de sodio conforme aumentó la concentración de KCl, aunque sin diferencias estadísticas significativas con respecto al tratamiento testigo (Figura 3B). Este comportamiento sugiere un efecto acumulativo moderado de Na^+ bajo condiciones de agua de baja salinidad residual.

Peso Seco de Raíz

El análisis del peso seco de raíz reveló un aumento progresivo en tratamientos con KCl en agua purificada a medida que se incrementó la concentración de KCl, lo que podría reflejar una respuesta adaptativa del sistema radicular frente al estrés inducido por salinidad leve. Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos, la tendencia indica una estimulación del desarrollo radicular en condiciones moderadas de salinidad.

Para los tratamientos en agua de pozo, se observó un comportamiento similar hasta la concentración de 6 mmol. Sin embargo, en el tratamiento con 9 mmol de KCl en agua de pozo, el peso seco de raíz mostró una ligera reducción, aunque esta tampoco fue estadísticamente diferente del testigo (Figura 3C). Esto sugiere un posible umbral de tolerancia a la acumulación salina en el sistema radicular, donde concentraciones elevadas comienzan a afectar el crecimiento.

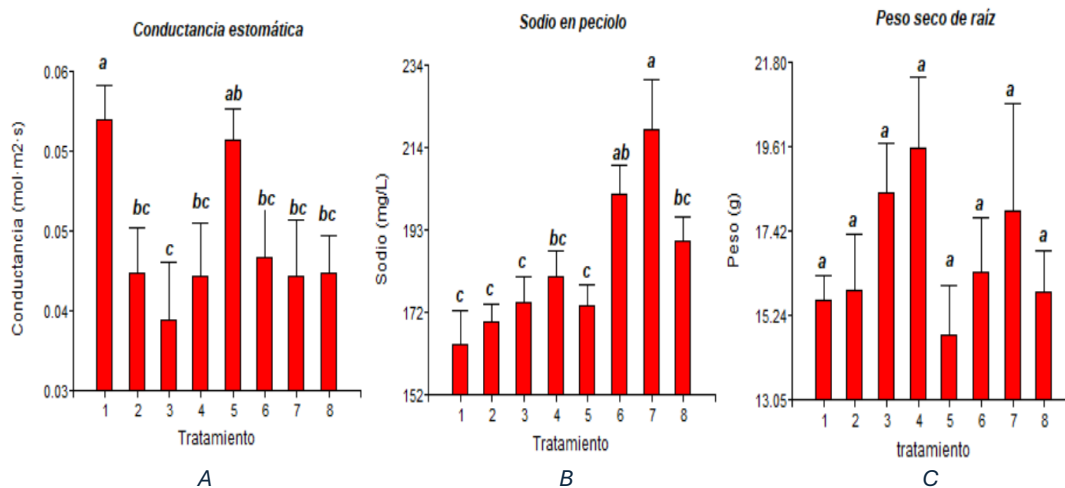


Figura 3. A) Conductancia estomática, B) sodio en peciolo, C) peso seco de raíz. Mismas letras en columnas son estadísticamente iguales según la prueba de comparación Duncan de rango múltiple ($\alpha = 0.05$)

DISCUSIÓN

Efectos del KCl en el contenido de calcio y potasio

El contenido de calcio en los pecíolos fue mayor en los tratamientos con 3 y 6 mmol de KCl en agua de pozo en comparación con el testigo, mientras que el tratamiento con 9 mmol en agua de pozo mostró valores similares al testigo. En contraste, en agua purificada, el contenido de calcio disminuyó significativamente con la concentración de 9 mmol de KCl, indicando una posible interferencia del ion cloruro en la absorción de calcio. Este hallazgo es consistente con estudios que han reportado que el exceso de cloruro puede reducir la disponibilidad de calcio para las plantas (Jaime-Guerrero et al., 2024).

Por otro lado, el contenido de potasio fue mayor en los tratamientos con 9 mmol de KCl en agua purificada, lo que indica una eficiente absorción de este ion bajo condiciones controladas. Sin embargo, en agua de pozo, el aumento en la concentración de KCl resultó en un incremento progresivo del contenido de potasio, lo que sugiere que la competencia iónica en suelos con alta concentración de sales puede afectar la eficiencia de absorción de potasio (Karlsons et al., 2023).

Incidencia de la pudrición apical (BER)

La incidencia de BER fue con una tendencia mayor en los tratamientos con 9 mmol de KCl en agua purificada y en agua de pozo con 6 y 9 mmol, sin diferencias significativas entre estos tratamientos. Estos resultados coinciden con estudios que han señalado que un aumento en la concentración de potasio puede interferir con la absorción de calcio, favoreciendo la aparición de BER (Karlsons et al., 2023).

Además, la relación Ca:K es crucial para la prevención de BER. En este estudio, los tratamientos con 3 mmol de KCl en ambos tipos de agua mostraron una menor incidencia de BER, lo que podría estar relacionado con una mejor relación Ca:K y una mayor disponibilidad de calcio para las plantas (Karlsons et al., 2023)

Nitrato, clorofila y actividad antioxidante.

Efecto del KCl en el contenido de nitrato en pecíolos

Los resultados obtenidos en este estudio indican que las concentraciones de 3 y 6 mmol de KCl en agua purificada aumentaron significativamente el contenido de nitrato en los pecíolos de tomate, mientras que 9 mmol de KCl en agua purificada redujo este contenido. Este patrón sugiere que una concentración elevada de KCl podría interferir con la absorción o asimilación de nitratos, posiblemente debido a un desequilibrio iónico que afecta la actividad de la enzima reductasa de nitrato (NR). Estudios recientes han demostrado que la actividad de NR es crucial para la conversión de nitratos en nitritos y óxido nítrico, compuestos involucrados en la regulación del metabolismo y la respuesta al estrés en plantas de tomate (Xu et al., 2023).

En contraste, los tratamientos con agua de pozo mostraron niveles de nitrato similares al testigo, lo que podría indicar que la dureza del agua influye en la disponibilidad y absorción de nitratos, posiblemente modulando la actividad de NR y otros mecanismos de transporte iónico.

Impacto del KCl en el contenido de clorofila

El contenido de clorofila en los folíolos de tomate disminuyó significativamente en los tratamientos con 3, 6 y 9 mmol de KCl en agua purificada en comparación con el testigo. Este hallazgo es consistente con estudios que han reportado que el exceso de sales, como el cloruro de potasio, puede inducir estrés osmótico y reducir la síntesis de clorofila, afectando negativamente la fotosíntesis y el crecimiento vegetal (Temur et al., 2023).

Por otro lado, los tratamientos con agua de pozo no mostraron diferencias significativas en el contenido de clorofila respecto al testigo, lo que sugiere que la dureza del agua podría mitigar los efectos negativos del KCl sobre la síntesis de clorofila, posiblemente al influir en la disponibilidad de nutrientes y en la regulación osmótica dentro de la planta.

Respuesta antioxidante ante aplicaciones de KCl

La actividad antioxidante en las hojas de tomate aumentó significativamente en los tratamientos con 6 y 9 mmol de KCl en agua purificada, indicando una respuesta

adaptativa al estrés inducido por el exceso de sales. Este fenómeno está relacionado con la activación de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la peroxidasa (POD), que desempeñan un papel crucial en la mitigación del daño oxidativo en condiciones de estrés (Lara et al., 2014).

Sin embargo, los tratamientos con agua de pozo no mostraron una disminución significativa en la actividad antioxidante respecto al testigo, lo que podría sugerir que la dureza del agua influye en la capacidad de la planta para manejar el estrés salino, posiblemente al afectar la disponibilidad de cationes esenciales que participan en las rutas de señalización antioxidante.

Conductancia estomática, sodio y peso seco de raíz.

Conductancia estomática

La apertura estomática máxima observada en el tratamiento con 3 mmol de KCl en agua purificada muestra una mejora significativa del intercambio gaseoso y de la eficiencia hídrica de la planta. Esto muestra el papel del potasio en la regulación de la apertura estomática y mantener sus funciones fotosintéticas, bajo estrés salino (Sharipova et al., 2022). La capacidad de K para favorecer la hidráulica foliar y estimular acuaporinas coincide con lo reportado en cebada bajo salinidad (Hasanuzzaman et al., 2018)

Sodio en peciolo

El aumento progresivo de Na^+ asociado a las dosis con KCl, particularmente en agua de pozo, sugiere una acumulación iónica incrementada. Sin embargo, el mantenimiento de alta conductancia y buena biomasa radicular indica que las plantas podrían estar gestionando el Na^+ mediante compartimentación o exclusión, en beneficio del homeostasis K^+/Na^+ . Revisiones recientes apuntan que mecanismos de retención de K^+ en el citosol constituyen una estrategia clave para tolerancia a salinidad (Fujita & Hasanuzzaman, 2022).

Peso seco de raíz

Un incremento del peso seco de raíz en respuesta a 6 mmol KCl demuestra que esta dosis potencia la proliferación radicular. Se ha documentado que la nutrición con potasio mejora

la biomasa en leguminosas y cereales bajo estrés salino, al fomentar rutas de regulación osmótica y producción de osmolitos compatibles (Jēkabsone et al., 2024). En trigo, 10 mM K incrementó hasta 25 % la longitud radicular frente a condiciones salinas (Abbas et al., 2022).

CONCLUSIONES

El cloruro de potasio en concentración de 3 mmol contribuye a reducir efectos de estrés salino en tomate, así como la reducción de frutos dañados por BER. Mantiene un equilibrio en cuanto a nitrato, clorofila y actividad antioxidante en hoja.

REFERENCIAS

- Abbas, G., Rehman, S., Siddiqui, M. H., Ali, H. M., Farooq, M. A., & Chen, Y. (2022). Potassium and Humic Acid Synergistically Increase Salt Tolerance and Nutrient Uptake in Contrasting Wheat Genotypes through Ionic Homeostasis and Activation of Antioxidant Enzymes. *Plants*, 11(3), 263. <https://doi.org/10.3390/plants11030263>
- Al Hosni, A. S., Joyce, D., Hunter, M., Perkins, M., & Al Yahyai, R. (2024). Altered Calcium and Potassium Distribution Maps in Tomato Tissues Cultivated Under Salinity: Studies Using X-Ray Fluorescence (Xfm) Microscopy. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4753268>
- Arakawa, R., Fujimoto, H., Kameoka, H., Toriyama, S., Yoshida, Y., Watanabe, T., & Maruyama, H. (2021). Effects of Different Potassium Nitrate Concentrations and Temperature Conditions on the Elemental Composition and Blossom-end Rot in Paprika (*Capsicum annuum* L.). *The Horticulture Journal*, 90(4), 401-409. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-294>
- Bianchi, A. R., Vitale, E., Guerretti, V., Palumbo, G., De Clemente, I. M., Vitale, L., Arena, C., & De Maio, A. (2023). Antioxidant Characterization of Six Tomato Cultivars and Derived Products Destined for Human Consumption. *Antioxidants*, 12(3), 761. <https://doi.org/10.3390/antiox12030761>
- Birlanga, V., Acosta-Motos, J. R., & Pérez-Pérez, J. M. (2022). Mitigation of Calcium-Related Disorders in Soilless Production Systems. *Agronomy*, 12(3), 644. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030644>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Dou, J., Tang, Z., Yu, J., Wang, G., An, W., Zhang, Y., & Yang, Q. (2025). Effects of exogenous melatonin on the growth and photosynthetic characteristics of tomato seedlings under saline-alkali stress. *Scientific Reports*, 15(1), 5172. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88565-5>
- Faisal Alharby, H. (2021). Using some growth stimuli, a comparative study of salt tolerance in two tomatoes cultivars and a related wild line with special reference to superoxide dismutases and related micronutrients. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(11), 6133-6144. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.062>

- Flores-Bernal, E. F., Sandoval-Villa, M., Guzmán-Martínez, M., Espinosa-Rodríguez, M., Vázquez-Villamar, M., & Sabino-López, J. E. (2021). Estado nutrimental en el extracto celular de pecíolo y hojas de genotipos de jamaica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(II). <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2928>
- Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Approaches to Enhancing Antioxidant Defense in Plants. *Antioxidants*, 11(5), 925. <https://doi.org/10.3390/antiox11050925>
- Gandullo, J., Ahmad, S., Darwish, E., Karlova, R., & Testerink, C. (2021). Phenotyping Tomato Root Developmental Plasticity in Response to Salinity in Soil Rhizotrons. *Plant Phenomics*, 2021, 2760532. <https://doi.org/10.34133/2021/2760532>
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra Del Real, G. (2007). ALGUNOS EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL CULTIVO DEL TOMATE Y PRÁCTICAS AGRONÓMICAS DE SU MANEJO. *Idesia (Arica)*, 25(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- Haj-Amor, Z., Hashemi, H., & Bouri, S. (2018). The consequences of saline irrigation treatments on soil physicochemical characteristics. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s41207-018-0064-y>
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Nahar, K., Hossain, Md., Mahmud, J., Hossen, Md., Masud, A., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
- Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J. G., & Fischer, G. (2024). Effect of calcium on fruit quality: A review. *Agronomía Colombiana*, 42(1), e112026. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v42n1.112026>
- Jēkabsons, A., Karlsons, A., Osvalde, A., & Ievinsh, G. (2024). Effect of Na, K and Ca Salts on Growth, Physiological Performance, Ion Accumulation and Mineral Nutrition of *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plants*, 13(2), 190. <https://doi.org/10.3390/plants13020190>
- Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, Md. S., Kumar, V., Shackira, A. M., Puthur, J. T., Abdi, G., Sarraf, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant*

Physiology and Biochemistry, 172, 56-69.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001>

- Juárez-Maldonado, A., De Alba-Romenus, K., Zermeño-González, A., Ramírez, H., & Benavides-Mendoza, A. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero* Growth analysis of tomato in greenhouse. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Karlsons, A., Osvalde, A., Cekstere, G., & Āboliņa, L. (2023). Effects of Ca Sprays on Fruit Ca Content and Yield of Tomato Variety Susceptible to Blossom-End Rot. *Plants*, 12(8), 1640. <https://doi.org/10.3390/plants12081640>
- Lara, T. S., Lira, J. M. S., Rodrigues, A. C., Rakocevic, M., & Alvarenga, A. A. (2014). Potassium Nitrate Priming Affects the Activity of Nitrate Reductase and Antioxidant Enzymes in Tomato Germination. *Journal of Agricultural Science*, 6(2), p72. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n2p72>
- Litalien, A., & Zeeb, B. (2020). Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. *Science of The Total Environment*, 698, 134235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>
- Lu, Y., & Fricke, W. (2023). Salt Stress—Regulation of Root Water Uptake in a Whole-Plant and Diurnal Context. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9), 8070. <https://doi.org/10.3390/ijms24098070>
- Mendoza-Tafolla, R., Juárez-Lopez, P., Ontiveros-Capurata, R., Alia-Tejacal, I., Guillén-Sánchez, D., Villegas-Torres, O., & Chávez-Bárceñas, A. (2022). Estimación de la concentración de clorofila, nitrógeno y biomasa en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) mediante mediciones portátiles no destructivas. *Bioagro*, 34(2), 151-162. <https://doi.org/10.51372/bioagro342.5>
- Nabinejad, S., & Schüttrumpf, H. (2023). Flood Risk Management in Arid and Semi-Arid Areas: A Comprehensive Review of Challenges, Needs, and Opportunities. *Water*, 15(17), 3113. <https://doi.org/10.3390/w15173113>
- Ramírez-Bernal, A. M., Parra-Díaz, L. S., Carrillo, J. J., & Lizarazo-Peña, P. A. (2021). DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA LA MEDICIÓN NO DESTRUCTIVA DEL ÁREA FOLIAR Y LA ESTIMACIÓN DE CLOROFILA. 8.
- Raza, A., Salehi, H., Rahman, M. A., Zahid, Z., Madadkar Haghjou, M., Najafi-Kakavand, S., Charagh, S., Osman, H. S., Albaqami, M., Zhuang, Y., Siddique, K.

- H. M., & Zhuang, W. (2022). Plant hormones and neurotransmitter interactions mediate antioxidant defenses under induced oxidative stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 961872. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.961872>
- Salas-Rivera, R., Valdez-Aguilar, L. A., Alvarado-Camarillo, D., Rascón-Alvarado, E., Peña-Ramos, F. M., & González-Fuentes, J. A. (2020). Balance potasio:calcio, relación con el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa en tomate de invernadero. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 301-311. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.589>
- Sarijan, A., Limbongan, A. A., Anwar, Ekowati, N. Y., & Kusumah, R. (2025). Calcium nitrate application on tomatoes to increase blossom-end rot disease resistance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1471(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1471/1/012025>
- Sharipova, G., Ivanov, R., Veselov, D., Akhiyarova, G., Seldimirova, O., Galin, I., Fricke, W., Vysotskaya, L., & Kudoyarova, G. (2022). Effect of Salinity on Stomatal Conductance, Leaf Hydraulic Conductance, HvPIP2 Aquaporin, and Abscisic Acid Abundance in Barley Leaf Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 14282. <https://doi.org/10.3390/ijms232214282>
- Sun, M., Pu, M., Zheng, G., Tian, Z., Zhang, M., He, X., Zhao, Y., Zhao, X., Zhang, X., Yang, X., Liu, H., & Zhou, C. (2024). Enhanced antioxidant activity improves deep-sowing tolerance in maize. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1229. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05994-6>
- Sun, Y., Xie, X., & Jiang, C.-J. (2024). Antioxidant Agriculture for Stress-Resilient Crop Production: Field Practice. *Antioxidants*, 13(2), 164. <https://doi.org/10.3390/antiox13020164>
- Temur, B., Akhoundnejad, Y., Nas, Y., & Ersoy, L. (2023). Effect of different potassium fertilizers on yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 7(4), 761-769. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.4.5>
- Topcu, Y., Nambeesan, S. U., & Van Der Knaap, E. (2022). Blossom-end rot: A century-old problem in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and other vegetables. *Molecular Horticulture*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s43897-021-00022-9>
- Urias-Salazar, A. A., Poot-Poot, W. A., Ayil-Gutiérrez, B. A., Delgado-Martínez, R., Silva-Espinosa, J. H. T., & Segura-Martínez, Ma. T. D. J. (2022). Cultivo de tejidos vegetales y mutagénesis inducida: Una estrategia para el desarrollo de

plantas tolerantes a salinidad. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 85. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2022853315>

- Wang, Z., Hong, Y., Li, D., Wang, Z., Chao, Z.-F., Yu, Y., Zhu, G., & Zhu, J.-K. (2024). Association analysis provides insights into molecular evolution in salt tolerance during tomato domestication. *Plant Physiology*, 196(4), 2721-2729. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac516>
- Xu, H., Kong, M., Ali, Q., Jing, H., Wang, F., Xu, Q., Li, F., Gu, J., & Shen, Y. (2023). Nitrate Reductase Drives Nutrition Control and Disease Resistance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3001684/v1>