

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Concentración de Iones en Solución del Suelo y su Respuesta
en el Cultivo de Tomate

Por:

MARIO JERÓNIMO FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Concentración de Iones en Solución del Suelo y su Respuesta
en el Cultivo de Tomate

Por

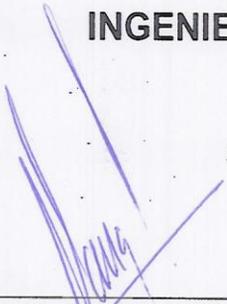
MARIO JERÓNIMO FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

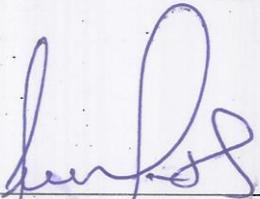
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal Interno


M.C. Felicito Ausencio Díaz Vázquez
Asesor Principal Externo


Dr. Armando Hernández Pérez
Coasesor


Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2023



Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Mario Jerónimo Flores', is written over a horizontal line.

Mario Jerónimo Flores

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de Guadalupe, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y haberme otorgado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad, amor y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de mi formación profesional.

Quiero agradecer con mucho cariño, respeto y admiración a mis padres; **Ygnacia Flores Hernández y Celso Jerónimo Florentino**, quienes, con su apoyo incondicional, amor, dedicación y esfuerzo me han motivado para cumplir una de mis metas. Sus consejos, educación y enseñanzas son sin duda, el mejor legado que hayan podido compartirme. Gracias por ser los principales promotores de mis sueños, creer en mí y en mis expectativas, siendo para mí el mejor regalo que pudieron haberme heredado, dedicando una vida entera trabajando para darme un mejor futuro. Este nuevo logro es para ustedes, ahora me toca a mí responder y cumplir todas mis metas, los amo mucho.

También quiero agradecer a mis hermanos **Gabriela Jerónimo Flores y Juan Carlos Flores Hernández** por el cariño, apoyo y consejos que siempre me han brindado, espero poder ser ejemplo de esfuerzo y dedicación para ustedes.

Quiero agradecer a **mi familia**, por su apoyo y que siempre estuvieron ahí para motivarme y alentarme a salir adelante, para cumplir mis metas y lograr superarme día con día.

A mi alma mater, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme abierto sus puertas y formarme profesionalmente, dándome innumerables e incomparables oportunidades dentro y fuera de las aulas, así como también a mis diferentes maestros que me brindaron sus conocimientos, los cuales me permitirán honrar y defender la calidad de tan noble institución educativa.

Al **Dr. Alberto Sandoval Rangel**, por compartir su conocimiento y experiencia, que permitieron poder culminar este gran proyecto y brindarme su apoyo en la institución.

Al **MC. Felicito Ausencio Díaz Vázquez**, por compartir de su conocimiento y experiencias, además de ofrecerme su amistad y paciencia desde el inicio hasta el final del proyecto, que siempre estuvo pendiente de mis aciertos y errores, lo cual me ayudó a mejorar y adquirir nuevas habilidades.

A **Jovani Ramírez, Manuel López, Adán Montero, Jesús Luna, Robert Alemany, Jaziel Ovilla, Carlos Velasco, André Piceno, Samuel Vargas, Jairo Nahím, Aarón Rodríguez, Marcos Cabrera, Kevin Flores, Alexandro Aguilar, Miguel Zanella, Gustavo Pacheco, Jairo Flores, Rosa Cruz, Karen López, Rubí Aguilar, Diana Vizcarra, Daniela Garibay, Carolina Hernández, Dení Ballinas, Itzel Flores** y todas las amistades que me permitió conocer la Universidad, por apoyarme incondicionalmente en todos los momentos y formar parte de todo el proceso de mi formación profesional.

A **Jesús Maqueda (†), Marcial Benicio, Tonatiu Nicolás, Odiseo Castelán, Jesús Alberto Hernández, Itzel Hernández, Isela Guadalupe, Teresa Pérez, Ailyn Pérez, Marian Zavala, Angélica Vicencio, Irazema Hernández, Vanessa Hernández** por apoyarme, motivarme a salir adelante y brindarme su amistad que a pesar del tiempo y la distancia siempre han sido un pilar para lograr todas mis metas.

DEDICATORIAS

A Dios y la Virgen de Guadalupe por permitirme el maravilloso regalo de la vida, por brindarme salud, guiar mis pasos por el camino del bien y por brindarme una familia donde siempre he tenido un apoyo incondicional.

A mis padres **Ygnacia Flores Hernández y Celso Jerónimo Florentino**, que me enseñaron el trabajo y el amor al campo, que gracias a sus consejos, sacrificios y cariño pude cumplir una de mis metas, por inculcarme desde mis primeros años los valores necesarios para ser un ciudadano de bien y productivo en la sociedad.

A mi hermana **Gabriela**, por ser mi mayor ejemplo de dedicación y esfuerzo y por estar conmigo en todo momento, pese a buenos y malos momentos, porque nunca dejo de creer en mí y siempre me ayudo a crecer de su mano.

A mis amigos y familiares, los cuales creyeron en mí en todo momento y que fueron un pilar importante durante mi formación profesional, quienes mediante su apoyo y motivación me dieron fuerza para no desistir en llegar a la meta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis.....	2
I. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Importancia agronómica	3
2.3 Producción mundial	3
2.4 Producción nacional	4
2.5 Aspectos generales del cultivo	4
2.5.1 Taxonomía del cultivo	4
2.5.2 Morfología del cultivo	5
2.5.3 Fenología del cultivo	6
2.5.4 Requerimientos edafoclimáticos	7
2.6.1 Ciclo y funcionalidad del nitrógeno.....	9
2.6.2 Ciclo y funcionalidad del Potasio.....	13
2.6.3 Ciclo y funcionalidad del calcio	15
2.7 Relación y funcionalidad de los iones en el suelo	17
2.7.1 Relaciones catión-anión en el suelo.....	17
2.7.2 Absorción e intercambio iónico suelo-planta.....	18
2.7.3 Interacciones con pH y CE.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 Ubicación del experimento	20
3.2 Material genético	21
3.3 Diseño Experimental.....	21
3.4 Variables evaluadas	21
3.5 Análisis estadístico	24
3.6 Metodología experimental	25

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Concentración de iones en solución del suelo.....	26
4.2 Variables de crecimiento	28
4.3 Variables fisiológicas	29
V. CONCLUSIONES	34
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores promedio para la cantidad disponible de iones NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y CE en la solución del suelo mediante la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) en el cultivo de tomate.....	27
Cuadro 2. Valores promedio de variables de crecimiento en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertiirrigación en cultivo de tomate en suelo.....	28
Cuadro 3. Valores promedio de la variable conductancia estomática y contenido de clorofila “a”, “b” y total en tejido fresco, en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertiirrigación.	30
Cuadro 4. Valores promedio de la variable firmeza de fruto y sólidos solubles totales en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertiirrigación.	32
Cuadro 5. Valores promedio de la variable rendimiento, número de frutos por racimo y peso promedio de fruto en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertiirrigación.	33

RESUMEN

La salinidad en el suelo actualmente representa una problemática para la actividad agrícola en el noreste de México, puesto que altas concentraciones de iones como Ca^{2+} , reducen la cantidad de otros nutrientes disponibles para las plantas. Por ello el constante monitoreo de iones ayuda a identificar las deficiencias del cultivo, lo que permite realizar un manejo nutricional para compensar dichas demandas. El presente experimento consistió en la aplicación al suelo de cuatro concentraciones de solución nutritiva de Steiner adecuada para el cultivo de tomate. En el monitoreo, con ayuda de un lisímetro sometido a un vacío a 60 kPa se obtuvo la solución del suelo y se midió la concentración de iones de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} . Para el análisis de los datos se utilizó un diseño de bloques completamente al azar y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados permitieron determinar que los tratamientos SF100 y SF125 tuvieron mejores resultados para la concentración de iones medidos. Para las variables de crecimiento, fisiológicas, calidad comercial y rendimiento, SF100 y SF125 produjeron los mejores resultados, una mejor respuesta al manejo nutricional, se observó manteniendo una conductividad eléctrica de 2.42 dS m^{-1} . Las altas concentraciones iniciales de solución nutritiva generan mejor crecimiento en etapas tempranas, además de mejorar el desarrollo de la planta. El ion Ca^{2+} mostro concentraciones altas originadas por el tipo de suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Una limitante para la actividad agrícola mayormente se debe a la salinidad en el suelo, que trae como repercusión una reducción en el rendimiento de los cultivos, la salinidad es ocasionada en zonas donde la evaporación en el ambiente y la cantidad de absorción de agua de las plantas rebasan la cantidad de precipitaciones, llegando a afectar la estructura y la química del suelo (Liang et al., 2005). Según las cantidades de iones de Ca^{2+} y Na^+ , depende directamente la condición del suelo, cuando mayormente se encuentre el ion Ca^{2+} se define como suelos salinos o alomorfos, provocando la disminución del rendimiento del cultivo, por otra parte, cuando el suelo presenta altas cantidades de Na^+ se le llama suelo sódico o alcalino (Trejo-González et al., 2019).

De los nutrientes principales para la producción de cultivos, el nitrógeno es el más importante, sin embargo la mala aplicación y dosificación presentan un problema en la agricultura, porque pueden llegar a generar salinidad en los suelos, así como en cuerpos de agua cuando los residuos son lixiviados (García-Galindo et al., 2020). Cuando existe una alta cantidad de riego o un alto índice de precipitaciones, el amonio llega a la nitrificación convirtiéndose en nitrato, que cuando no es absorbido por las plantas tiende a lixiviarse hacia depósitos hídricos, afectando a la fauna acuática puesto que el agua presenta toxicidad y acidez (Balázs & Pungor, 1997).

El uso de herramientas de monitoreo como los electrodos de ion selectivos, permiten determinar la cantidad de nutrientes disponibles como NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} , pH y CE en la solución del suelo, esta información hace posible realizar adecuaciones a la fertilización para mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta (Díaz-vázquez et al., 2023). Por tal motivo, el experimento se dirigió bajo los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Medir la disponibilidad de iones en solución del suelo y establecer la dinámica que estos guardan en relación a la concentración de la solución nutritiva aplicada al suelo, evaluando la respuesta del cultivo de tomate al manejo nutricional diferenciado.

1.2 Objetivos específicos

- Medir la disponibilidad de iones de NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ , pH y CE de la solución del suelo a lo largo del ciclo de cultivo.
- Establecer la dinámica de los iones, pH y CE a lo largo del ciclo del cultivo.
- Medir la respuesta del cultivo de tomate en términos de crecimiento, a la aplicación de solución nutritiva a concentraciones diferenciadas.
- Medir la respuesta fisiológica del cultivo de tomate, a la aplicación de solución nutritiva a concentraciones diferenciadas.
- Medir la respuesta en términos de calidad de fruto y rendimiento, como efecto de la concentración diferenciada de la solución nutritiva aplicada.

1.3 Hipótesis

- La concentración de la solución nutritiva aplicada al suelo genera modificaciones en la dinámica de los iones en solución del suelo.
- El cultivo de tomate responde de forma significativa, en términos de crecimiento, fisiológicos, de calidad de fruto y rendimiento a la concentración de la solución nutritiva aplicada de forma constante.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia agronómica

Algunos autores sugieren que el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tuvo su centro de domesticación en países como Perú y México, aunque este proceso pudo llevarse a cabo de forma simultánea en ambos territorios (Rick & Fobes, 1975) (Peralta & Spooner, 2007), además el cultivo ha demostrado que puede desarrollarse en diferentes ambientes bajo diferentes condiciones (Álvarez-Hernández, 2012)

El tomate, además, es uno de los cultivos hortícolas de producción y consumo más populares en el mundo, ya que tanto el fruto en fresco como los subproductos derivados de él, aportan gran variedad de nutrientes y beneficios relacionados con la salud. En las regiones donde se cultiva y se consume, constituye una parte esencial en la dieta de la población (Montaño Méndez et al., 2021).

La adaptabilidad del cultivo de tomate, a diversas condiciones abióticas, permite su establecimiento en distintas zonas geográficas y diversos esquemas de producción, desde campo abierto o invernadero, calculándose un aproximado de 4.6 millones de ha a nivel mundial con un rendimiento total de 126 millones de toneladas (Campos *et al.*, 2021).

2.3 Producción mundial

La producción de tomate a escala mundial está liderada de forma continental por Asia, el cual representa un 54.1% de la producción, posteriormente América con un 17.1%, Europa con 15.9% y finalmente África con 11.9% del total de la producción,

siendo China, India, Turquía, Estados Unidos y Egipto los países con mayor producción en el mundo (Aynalem, 2022).

México ocupa la décima posición mundial, con el 1.9 por ciento de la superficie cosechada de esta hortaliza. En la actualidad China es el más importante productor y consumidor a nivel mundial, Estados Unidos es el principal importador y el principal exportador es México (Márquez Martínez, 2020).

2.4 Producción nacional

La producción de tomate en México se realiza casi en la totalidad del territorio, sin embargo, el 72.02% de la producción nacional se concentra en ocho estados, así, Sinaloa aportó del 2003 al 2017 más del 32% a nivel nacional, posteriormente Baja California 8.25%, Michoacán 7.05%, San Luis Potosí 6.62%, Jalisco 5.43%, Zacatecas 4.73%, Baja California Sur 4.54% y con menor presencia Sonora con 3.12% (Montaño Méndez *et al.*, 2021).

El (SIAP, 2021) estima que la producción de tomate a nivel nacional fue de 48,179.59 hectáreas sembradas, con una producción total de 3,185,507.71 toneladas, con un rendimiento promedio de 67.31 t ha.

2.5 Aspectos generales del cultivo

2.5.1 Taxonomía del cultivo

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*

(Marín, 2017)

2.5.2 Morfología del cultivo

Planta: El tomate es una planta perene arbustiva que se cultiva como planta anual, con morfología ya sea de tipo rastrero, semi-erecta o erecta, existiendo así, dos tipos de plantas; indeterminadas, con crecimiento ilimitado y determinadas cuyo crecimiento es limitado (POVEDA, 2010).

Tallo: El tallo es grueso, anguloso, pubescente y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de diámetro y entre más se acerque a la parte superior se vuelve más delgado (Monardes, 2009). En el tallo principal se forman nuevas hojas, racimos florales y tallos secundarios y en la porción distal surgen nuevos primordios foliares y florales donde se ubica el meristemo (Lopez Marin, 2016). El tallo está compuesto de epidermis con pelos glandulares, tejido medular, corteza y cilindro vascular. Inicialmente tiene apariencia herbácea (Escobar & Lee, 2009).

Hoja: Corresponde a una hoja compuesta y pinnada, muestra de siete a nueve foliolos peciolados que llegan a medir de 4-60 mm x 3-40 mm, borde dentado y lobulados, opuestos, alternos y comúnmente de color verde, revestido de pelos glandulares, glanduloso-pubescente por el haz y ceniciento por el envés, su posición puede ser inclinada, horizontal o semierecta (Monardes, 2009).

Raíz: Las raíces están divididas en tres partes: la raíz principal o pivotante especializada en la absorción de agua y nutrientes, después parten las raíces secundarias que tienen origen en el periciclo y emergen a través del córtex y las adventicias que en condiciones óptimas se desarrollan principalmente en la zona

basal del tallo, pero cuando las plántulas son trasplantadas tienden a perder la raíz principal, por ello desarrolla las raíces secundarias que se extienden en un diámetro de 1.5 m y pueden alcanzar más de 0.5 m de profundidad, siendo la temperatura óptima del suelo hasta 30 °C y la mínima de 15 °C (Nuez, 2001).

Inflorescencia: La inflorescencia es una cima racimosa, compuesta de dos a doce flores hermafroditas. En cultivares de crecimiento indeterminado tiene un patrón de crecimiento donde después de cada tres hojas crece una inflorescencia, aunque este patrón puede variar en función del genotipo. La flor tiene un diámetro de 1 a 2 cm, cáliz color verde compuesto de seis lóbulos o segmentos lanceolados, dispone de una corola amarilla con forma de estrella con seis pétalos y generalmente con seis estambres cuyas anteras forman un tubo, que se encuentra rodeado por el pistilo (J. Fornaris, 2007).

Fruto: Los frutos son jugosos, redondos o achatados, dependiendo de la variedad, generalmente contiene de tres o más lóculos, la cascara es delgada y varía de coloración de verde a rojo de acuerdo al grado de maduración, el peso ronda entre los 80 y 300 gramos, por lo regular su sabor es ligeramente ácido con un peculiar toque dulce (Rivera & Siqueira, 2008).

Semilla: La semilla presenta una forma ovalada y aplanada con un color grisáceo, tiene un diámetro de 2 mm aproximadamente (Cepeda Siller, 2009), teniendo un poder de germinación de hasta 4 años o más bajo condiciones óptimas, siendo 35 °C y 10 °C el rango tolerante de temperatura para su germinación (Rodríguez Rodríguez et al., 2001).

2.5.3 Fenología del cultivo

La duración de cada etapa fenológica depende la carga genética del cultivo. El desarrollo vegetativo es la primera etapa de desarrollo, va desde la germinación y emergencia de la plántula hasta la aparición del primer racimo floral, generalmente después de la formación de cinco a diez hojas surge, cuando la planta sostiene una altura mayor a 40 cm (Escobar & Lee, 2009).

La segunda etapa fenológica comprende el desarrollo de los frutos a partir de un ovario, los cuales toman de 7 a 9 semanas para su formación, esta etapa se divide en tres periodos: el primero es un periodo lento, dura 2 o 3 semanas donde se consigue el 10% del peso final que se logra por división celular y aumento en el tamaño de las células, la segunda etapa se prolonga de 3 a 5 semanas, caracterizada por la acumulación de almidones, ácidos orgánicos y otros compuestos que dan características al fruto maduro, el último periodo comprende 2 semanas donde se producen cambios metabólicos relacionados con la maduración (Nuez, 2001).

La maduración del fruto le toma un aproximado de 45 días, con temperaturas que van de 30 °C diurnas y 24 °C nocturnas, durante los primeros 15 días el fruto llega a un 10% del peso total, las semanas siguientes el crecimiento acelera hasta alcanzar el tamaño final que depende de las condiciones ambientales y de nutrición durante el desarrollo vegetativo (Del Pinto, 2022).

Los primeros frutos comienzan su madurez y cosecha en la etapa de producción. Durante esta etapa la planta sigue aumentando hojas y nuevos racimos florales, de forma paralela al tiempo que se cosechan los frutos lográndose a partir de los 80 a 120 días después del trasplante, en función de la variedad (Baudoin, 2017).

2.5.4 Requerimientos edafoclimáticos

Temperatura: El tomate es un cultivo ligeramente tolerante al calor, de estación cálida sensible a las heladas, prospera de mejor forma en climas secos con temperaturas moderadas, siendo la temperatura para su óptimo desarrollo los 21 a 24 °C, pero este margen puede extenderse a los 18 y 25 °C. Si la temperatura mensual es mayor a 27 °C las plantas de tomate no logran desarrollarse (Ardila, 2017).

El óptimo desarrollo del tomate está estrechamente ligado a la temperatura ambiental, pues en cultivos bajo invernadero se necesitan de temperaturas nocturnas de 10-14 °C, mientras que las diurnas oscilan entre los 17-25 °C, teniendo

efectos negativos en el cultivo la suma de baja luminosidad con bajas temperaturas afectando la polinización, formación del fruto o coloración (Iglesias, 2015).

Temperaturas superiores a 30 °C y menores a 12 °C afectan la producción de frutos de tomate, ocasionan un mal desarrollo de óvulos y de forma general afecta el funcionamiento de la planta y el sistema radicular, también generan tonalidades amarillentas en el fruto, fuera de estos rangos de temperatura la fecundación es prácticamente nula (Cepeda Siller, 2009).

Humedad relativa: La humedad relativa (HR) óptima para el desarrollo del cultivo se encuentra en rangos de 60% al 80%, dado que con HR menor al 60% se ve afectada la polinización y por encima del 80% propicia fuertemente la aparición de enfermedades foliares entre otros problemas fisiológicos (Lopez Marin, 2016), así como también rajaduras en el fruto tras un riego excesivo después de un periodo de estrés hídrico, de igual forma llegan a ocasionar una mala fecundación, que es causado por la compactación del polen, que a su vez provoca un aborto floral, por el contrario, una HR baja presenta problemas de fijación del polen al estigma de la flor (Cepeda Siller, 2009).

Riego: La necesidad hídrica del cultivo se determina con el uso de la evapotranspiración y radiación diaria aplicándose mediante fertirrigación (Yescas Coronado *et al.*, 2011). Algunos autores indican que los requerimientos hídricos en el cultivo de tomate bajo condiciones controladas oscilan entre los 200 mL planta⁻¹ día⁻¹ en su etapa inicial hasta los 1500 mL planta⁻¹ día⁻¹ en la etapa de mayor exigencia de consumo, esto para cultivos de tomate en invernaderos de alta densidad de ciclo corto, como se localizan en el centro de México (Flores et al., 2007).

Altura de áreas de cultivo: La planta de tomate puede cultivarse desde los 0 hasta los 2000 m.s.n.m. teniendo un óptimo desarrollo en climas templados, así como también en invernaderos que facilitan su producción durante todo el año (Karki & Dawadi, 2022).

Suelo: La planta de tomate debido a su rusticidad da la capacidad que sea poco exigente a las condiciones de suelo. Mas sin embargo es importante manejar suelos arcillosos y arenosos, con un buen drenaje con un alto contenido de materia orgánica, pH que varíe entre 6 y 6.5, de tal manera que la planta tenga disposición de los nutrientes de manera adecuada, pudiendo ser ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos, presentando una conductividad eléctrica (CE) no mayor a 3 dS m⁻¹ (Allende et al., 2017). Cuando el pH del suelo es menor a 5.5 se generan problemas en la disponibilidad de algunos elementos como calcio, fósforo, magnesio y molibdeno, la acidez del suelo ocasiona toxicidad a causa de aluminio y manganeso, por lo contrario cuando el pH se eleva más de 8.0 provocan una alcalinidad que reduce la disponibilidad de nutrientes como zinc y manganeso (Martinez, 2007).

2.6 Ciclo y funcionalidad de los elementos en el sistema suelo-planta

2.6.1 Ciclo y funcionalidad del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento determinante en el desarrollo de la productividad de una planta, y dado que el 79% del nitrógeno total se encuentra de forma elemental distribuido en la atmosfera en forma de gas (N₂), se considera a la atmosfera como el reservorio de nitrógeno más importante, este nitrógeno es fijado de manera frecuente por consecuencia de altas cantidades de energía que son liberadas por acción de tormentas eléctricas y como consecuencia son llevados a la superficie de la tierra mediante la lluvia (Pacheco-Avila *et al.*, 2002).

Sin embargo, el nitrógeno atmosférico fijado por fenómenos naturales se mantiene en forma orgánica, por lo que las plantas no pueden asimilarlo, siendo necesaria la aplicación de una fuente adicional de N, como materia orgánica para su óptimo desarrollo (Celaya-Michel & Castellano-Villegas, 2011).

De hecho, existen algunas especies de plantas que han desarrollado simbiosis con bacterias de tipo *Azotobacter*, *Spirillum* y *Enterobacter* que le permiten la fijación de nitrógeno atmosférico en forma molecular (Mengel & Kirkby, 2000).

La forma en la que se fija el nitrógeno es llevado a cabo mediante el complejo enzimático nitrogenasa (López Pérez & Boronat Gil, 2016). Las enzimas nitrogenasas se localizan en bacterias como *Clostridium pasteurianum*, *Rhizobium* y *Azotobacterias*. Las bacterias *Rhizobium* son localizadas en raíces de leguminosas, por lo que la fijación del nitrógeno se realizan en los nódulos de la raíz (Ruiz Herrera et al., 2011). El N_2 de forma gaseosa que se encuentra en la atmósfera no puede ser sintetizado por las plantas, para ello la nitrogenasa modifica el N_2 a NH_4^+ (Guzmán & Montero, 2021).

El uso de fertilizantes a base de nitrógeno como la urea es otra forma de aportar nitrógeno al suelo de forma artificial, una de sus características es la liberación lenta, lo que ayuda a disminuir la pérdida por volatilización después de la nitrificación del amoníaco (Morales Morales et al., 2019).

Formas de nitrógeno en el suelo

Nitrógeno orgánico: Poco más del 95% del N que se encuentra en el suelo es de manera orgánica y es escasamente asimilable para las plantas, ya que es necesario un proceso de mineralización, donde diferentes microorganismos son los responsables de su descomposición para la formación de nitrógeno mineral, siendo esta la forma disponible para las plantas (Figueroa-Barrera et al., 2012).

Nitrógeno inorgánico: Cerca del 2% de total de N en el suelo, esa disponible de forma inorgánica, en donde se puede encontrar amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) y la forma en la que es asimilado por una planta depende directamente de factores como temperatura y pH, así como también la presencia de microorganismos y otros elementos iónicos en la solución del suelo (McKean, 1993). La nitrificación ocurre cuando microorganismos del género *Nitrobacter* consiguen su energía a través de este proceso de oxidación, que se da en dos etapas: Nitrosación, en la cual del amonio se produce nitrito, seguido de la Nitratación en el

que del nitrito se produce nitrato, siendo la primera reacción más acelerada que la segunda, pero aún más rápida que la mineralización del N elemental a NH_4^- , por ello el NO_3^- es la fracción de N mayormente disponible en la solución del suelo y debido a sus características de movilidad tiende a lixiviarse, destacando que de este proceso también se obtiene N_2O y NO (Perez Castaño, 2019).

La desnitrificación es un proceso de respiración en el que las bacterias, arqueas y hongos en circunstancias escasas de oxígeno producen la reducción del nitrato o nitrito para llegar a N_2 (Jiménez Leiva, 2019). Este es un proceso invertido de la nitrificación, por lo que se lleva a cabo una secuencia donde el NO_3^- pasa a ser NO_2^- , posteriormente se transforma en NO , seguido de N_2O , para finalmente convertirse en N_2 y así el nitrógeno en su forma elemental es el resultado de esta respiración, ya que se sustituye el oxígeno por nitrito o nitrato como aceptador de electrones (Carbonero Zalduegui, 1984). La relación Carbono-Nitrógeno (C/N) es un parámetro para determinar la calidad orgánica del suelo, por lo que delimita la cantidad de nitrógeno asimilable en el suelo para las plantas, aunado a ello valores elevados señalan que la materia orgánica se descompone de forma lenta, lo que es causado por microorganismos que inmovilizan el nitrógeno, caso contrario rangos de 10 y 14 indican una mineralización y rompimiento de tejidos más acelerada, que determina que existe un flujo microbiano activo y esto hace disponible el nitrógeno tanto para microorganismos como para las plantas (Gamarra et al., 2018).

Formas asimilables del nitrógeno para la planta. Algunas de las bacterias que tienen la facultad de lograr la fijación del nitrógeno tomado directamente del aire son las del género *Rhizobium*, ya que tienen una enzima conocida como nitrogenasa, lo que permite reducir el nitrógeno en estado natural a amoníaco y esto da paso a una asimilación más eficaz por parte de la planta, que los integra fácilmente para la formación de aminoácidos (Lloret-Pastor, 2022).

Mayormente las plantas obtienen N en forma de nitratos o en forma de amonio que es sintetizado en las raíces así como también en hojas, después de ser transportado y una vez concentrado dentro de la planta, el nitrato es disminuido por enzimas nitrato reductasa y nitrito reductasa obteniéndose amonio (Jiménez Benavente,

2022). La absorción de NO_3^- se lleva a cabo mediante un proceso dividido en etapas, en la primera el NO_3^- reduce a NO_2^- , necesitando la presencia de enzimas nitrato reductasa y acción de fotosintatos, después ese NO_2^- vuelve a reducirse a NH_3^+ , por acción de nitrito reductasa, el NH_3^+ que se consigue es añadido a ácido glutámico por acción de la glutamina sintetasa en conjunto con el glutamato sintasa, que se localizan al interior y exterior de la célula (Perdomo et al., 2007).

Algunos resultados demuestran que las plantas pueden obtener mejor utilidad con aplicaciones de NO_3^- y NH_4^+ (Britto & Kronzucker, 2002), siendo el nitrato mayormente exigente en el gasto energético comparado con el amonio para su asimilación (McNeill & Unkovich, 2007).

La forma en la que se asimila el NO_3^- y NH_4^+ se ve afectada siempre que la temperatura del suelo sea baja, inhibiéndose la asimilación de NO_3^- cuando la concentración de NH_4^+ es mayor, pero la disminución de la absorción de NH_4^+ se observa menos marcada que la del NO_3^- (Perdomo et al., 2007).

Procesos de óxido-reducción del nitrógeno. El proceso de óxido-reducción describe como la planta absorbe nitrato o amonio para integrarlo a su organismo, donde para llegar a ello ocurre la amonificación, que es cuando el N_2 se convierte en NH_4^+ por medio de la síntesis de bacterias y hongos heterótrofos, después ocurre la nitrificación lo que sucede por medio de bacterias quimioautótrofas que oxidan el NH_4^+ para volverse Nitrito (NO_2^-), después, el nitrito se oxida a nitrato, para posteriormente llegar a la desnitrificación que convierte el nitrato a N_2 gaseoso por medio de microorganismos anaeróbicos y finalmente el N_2 es fijado en el suelo por bacterias con la enzima nitrogenasa siendo el amonio el producto de esta reacción (Strawn et al., 2020).

Funciones del nitrógeno en la planta (amonio y nitrato). La respuesta de una planta al estímulo mediante uso de nitratos se puede reflejar a corto y a largo plazo, siendo el primero una etapa muy corta de tiempo, donde generalmente algunos genes encargados de movilizar el nitrato y la reducción actúan a los pocos instantes y los resultados a largo plazo se pueden expresar en el desarrollo de la planta, incluyendo floración, latencia, transporte de auxinas, etc. (Zhao et al., 2018).

Algunos autores han señalado que el amonio en bajas concentraciones refleja buenos resultados en el desarrollo y rendimiento productivo de las plantas, lo que sugiere que una alta concentración de amonio provoca toxicidad que se ve reflejada en la productividad y calidad del fruto (Rivera Espejel *et al.*, 2014).

2.6.2 Ciclo y funcionalidad del Potasio

La desintegración y descomposición de las rocas que se constituyen por minerales de potasio, permite encontrar este elemento en el suelo en sus cuatro formas: potasio en solución, potasio fácilmente intercambiable, potasio difícilmente intercambiable y potasio no intercambiable (Carbonero Zalduegui, 1984).

El potasio en solución o soluble se representa como el ion disuelto en la etapa líquida del suelo y dado que es medio de nutrición para las plantas, este tipo de potasio cubre las carencias lo más pronto posible (Aguado Lara *et al.*, 2002).

El potasio fácilmente intercambiable es el estado iónico de éste elemento que se une de la solución del suelo, disminuyendo el K^+ adsorbido por los coloides del suelo, de forma contraria, cuando el K^+ incrementa en la solución del suelo por fertilización o mineralización, parte de este elemento abandonará la solución del suelo y nuevamente se incorporaría al material coloidal de la fase sólida (Conti, 2000).

En las arcillas se encuentran ubicados los iones de K^+ , mientras menos resistencia tengan, resulta más simple su intercambio para ser agregados a la solución del suelo, por ello la dinámica que existe en este medio puede propiciar la separación de las capas de arcilla y de esta manera liberar potasio, en caso contrario se pueden llegar a cerrar otras láminas de arcilla aislando los iones dejándolos difícilmente intercambiables (Moscatelli *et al.*, 2001).

Cuando las cantidades de K^+ en la solución del suelo y en el complejo de adsorción escasean en los suelos con altas cantidades de arcilla, la restauración del K^+ llega a ocurrir gracias a los iones de potasio no intercambiable, que se encuentran de

manera inmóvil dentro los complejos arcillosos interlaminares y este proceso ocurre usualmente en suelos arcillosos del tipo illita y esmectita (López Hernández *et al.*, 2021).

Fijación del Potasio. Al disminuir el porcentaje de saturación del potasio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) incrementa la fijación de manera lenta y cuando llega a valores aproximados a 1.3 mEq de K^+ g^{-1} de arcilla, aumenta nuevamente pero de manera más acelerada, lo cual explica que en los horizontes B y C se fija mayor cantidad de K^+ que en el A, puesto que ahí por la fertilización, residuos de cosechas anteriores, etc., comúnmente existe más potasio intercambiable (Carbonero Zalduegui, 1984).

Fijación artificial. Cuando al suelo se le adicionan fertilizantes potásicos, estos utilizan primeramente los espacios interlaminares de las arcillas, esto puede reducir la disponibilidad del potasio para la planta, pero puede funcionar más tarde como reserva. Aun cuando lo antes mencionado puede ser la principal causa de fijación, esta también se puede dar por condiciones térmicas que provocan aberturas de minerales micáceos ayudando a que se libere este nutriente y la saturación del suelo (Mahia Masip, 2018).

Formas de Potasio en el suelo. Del total del potasio que se localiza en el suelo solamente el intercambiable y el que está en la solución del suelo pueden ser absorbidos y asimilados por las plantas lo que corresponde solamente al 2%, puesto que el 98% del total se puede localizar en formas no asimilables en los colides del suelo arcilloso y K^+ que se mantiene en la estructura de minerales primarios (Vistoso Gacitúa & Martínez Lagos, 2020).

Funciones del potasio en la planta. El potasio absorbido es redistribuido a las áreas de utilidad, en donde intervienen en la fotosíntesis, tiene colaboración en la apertura estomática dando control al intercambio de CO_2 del ambiente hacia adentro de la planta, ayuda a mantener la turgencia en las plantas, transporta y sintetiza azúcares y almidones, así como también refuerza las estructuras celulares de las raíces (Larriva Coronel, 2003).

Aunque mayormente el potasio no ejerce función estructural tiene un rol importante en procesos catalíticos, ya que se enlaza de forma iónica al piruvato quinasa, que es responsable de la respiración, así como también en el metabolismo de carbohidratos y su deficiencia se observa como clorosis moteada que producen zonas necróticas en bordes y zonas apicales de hojas viejas y jóvenes para finalmente provocar su enroscamiento (Asagir et al., 2003).

2.6.3 Ciclo y funcionalidad del calcio

Los suelos calcáreos tienen su particular ubicación en suelos áridos y semiáridos, procedentes de depósitos aluviales, coluviales y eólicos, pero pueden tener un alto rendimiento en la agricultura condicionado a una buena aplicación de fertilizantes, riego y drenaje que prevenga la acumulación de sales y el encharcamiento en el suelo y aunque es difícil calcular la cantidad total de este tipo de suelo se puede determinar que se localizan mayormente en los desiertos del norte de México (Lozano-Rivas, 2018).

La cantidad de calcio solamente corresponde del 0.1 al 1.2% del total del suelo, pero este calcio se puede perder en ambientes de humedad mediante la lluvia que contiene CO_2 disuelto, caso contrario en ambientes áridos permanecen en el suelo en forma de CaCO_3 mayormente, en suelos ácidos donde el calcio es lixiviado por altas precipitaciones, el calcio necesario para las plantas se reestablece mediante los encalados (Carbonero Zalduegui, 1984).

Formas del calcio en el suelo. La manera de encontrar este elemento en el suelo es mineralizada, en su mayoría en forma de carbonatos y fosfatos, que son solubles de formas muy variables, así como sulfatos e incluso algunos silicatos que se presentan casi como insolubles, siendo en zonas con clima húmedo y templado una cantidad diez veces más grande el calcio cambiante comparado al potasio cambiante (Monge et al., 1995).

Formas asimilables del calcio para la planta. El calcio es absorbido y transportado como Ca^{2+} , que ingresa mediante el apoplasto y es relacionado mediante su forma iónica a las paredes celulares y dentro de la membrana citoplasmática, permitiendo su absorción únicamente en raíces jóvenes no suberizadas (Quiñones *et al.*, 2014).

Funciones del calcio en la planta. En el metabolismo de una planta, el calcio tiene un rol de gran importancia, pues este elemento es indispensable para el desarrollo de órganos como las raíces, precisamente en los pelos radiculares, ya que son los encargados de absorber la nutrición necesaria, aunado a eso también tiene papel importante dentro de las células actuando precisamente en la pared celular y la membrana citoplasmática (Roberts & Harmon, 1992).

En el cultivo de tomate, la deficiencia de calcio es uno de los problemas primarios de la nutrición, ya que ésta se puede vincular con la pudrición en zonas apicales, donde es originado por la escasa humedad relativa, la cual genera que el Ca^{2+} se aglomere en las hojas, dejando que este elemento se encuentre de manera escasa para la demanda de los frutos (Romero Rosas *et al.*, 2022).

El calcio tiene un papel fundamental en la síntesis de pectina en la lámina media de la pared celular, pero también se involucra durante el metabolismo o desarrollo del núcleo celular y mitocondrias, por lo que su deficiencia imposibilita la formación de nuevas estructuras, que se describe como la formación de células plurinucleadas, particularmente en tallos y peciolo las cuales se vuelven quebradizas y en zonas meristemáticas provoca pudrición, pero también originan clorosis en los bordes de hojas nuevas (Asagir *et al.*, 2003).

2.7 Relación y funcionalidad de los iones en el suelo

2.7.1 Relaciones catión-anión en el suelo

Dentro de la solución nutritiva es de gran importancia la estrecha relación entre aniones y cationes, pues estos deben de cumplir con las necesidades que requiere la planta para su desarrollo (Lara Herrera, 2000).

Los cationes son átomos con carga positiva los cuales en la solución del suelo se encuentran neutralizados por aniones que son iones de carga negativa, y por esto las plantas tienen la capacidad de liberarlos o retenerlos según sean sus demandas nutricionales y según la capacidad de intercambio catiónico del suelo es la cantidad de cationes que se pueden retener de forma total (Aranda Saltos & Vazconez Montúfar, 2022).

La fertilidad de los suelos depende mayormente a la capacidad de intercambio catiónico, pues cuando existen más sitios de intercambio en el suelo, mayor será la retención de cationes y así mismo aumenta la cantidad de iones que se almacenan y solubilizan en la solución del suelo para hacerse disponibles a las plantas (Bueno Buelvas & Fernández Lizarazo, 2019).

Un antagonismo ocurre cuando un elemento se encuentra en mayor concentración disminuyendo la asimilación de otros elementos (Casierra Posada & Vargas Perez, 2015). Y pueden tener origen ya sea en la etapa de absorción, translocación o acumulación en el tejido, e incluso en el metabolismo, pero durante la absorción llega a existir entre cationes, aunque también lo hay entre aniones, siendo la relación entre K^+ y Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} , Ca^{2+} y Mg^{2+} , NH_4^- y Ca^{2+} , NH_4^+ y K^+ , los de mayor importancia (González López, 2013).

Algunos autores han mencionado que debido a la concentración salina del suelo, originada de primera instancia por el sodio y fuertes concentraciones de otros iones como K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , etc., causan un antagonismo disminuyendo la absorción del calcio en el área radicular, inhibiendo el transporte este elemento provocando una pudrición apical en el fruto (Vásquez, 2007).

2.7.2 Absorción e intercambio iónico suelo-planta

Dentro de las funciones de los Nitratos en los vegetales son de proveer nitrógeno para sintetizar proteínas, mediante la enzima nitrato reductasa, que tienen acumulación dentro de las vacuolas donde sustituyen a ácidos orgánicos y azúcares (Sánchez et al., 2002). El nitrato es fácilmente móvil por lo que es posible almacenarlos en las vacuolas, pero para ser asimilado debe reducirse a Amonio, por medio de la enzima nitrato reductasa el nitrato se reduce nitrato y después en nitrito, seguido a ello el nitrito reductasa reduce a amonio usando la energía y el reductor de la fotosíntesis (Allen V & David J, 2007).

La manera en la que las plantas absorben nutrientes es mediante el gradiente de concentración y la absorción selectiva de iones, mientras que los cationes se localizan en el área radicular, siendo transportadas de dos formas; pasivo, que ocurre en los espacios intercelulares por medio de la difusión de iones metálicos en las células de la raíz, caso contrario el transporte activo se efectúa en la membrana plasmática (Juan Carlos, 2021).

2.7.3 Interacciones con pH y CE

El pH mide la cantidad de iones de hidrógeno presente en el suelo, determinando si este se encuentra ácido o alcalino cuando entra en contacto con el agua, mientras que la conductividad eléctrica (CE) mide las cantidades de sales, si bien puede encontrarse a una concentración poco perceptible, de ninguna manera se encuentra ausencia de sales en la solución del suelo (Cremona & Enríquez, 2020).

La CE en conjunto con el pH brindan información esencial sobre la cantidad de iones disponibles para las plantas, como también proporciona información sobre la acción de microorganismos, toxicidad, y demás procesos que se llevan a cabo en el suelo (Vargas Ramirez et al., 2022).

El aumento en la CE durante el establecimiento del cultivo se debe a gran parte a la presencia de fertilizantes de lenta liberación, mayor aplicación requerida de

fertilizante del que la planta puede asimilar o también depende de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del sustrato, y según sea la etapa fenológica de la planta, factores climáticos, manejo del cultivo o condiciones particulares del cultivo propician una respuesta específica a una alta o baja CE (Bárbaro et al., 2005).

La acidificación del suelo depende de muchos factores, de entre los cuales destaca la meteorización de aluminosilicatos, que de manera frecuente liberan Aluminio (Al^{+3}), que una vez incorporado a la solución del suelo reacciona con una hidrólisis, reteniendo iones OH^{-} , dejando disponibles los protones H^{+} , y puesto que cada ion de Al^{+3} tiene efecto en tres iones de OH^{-} lleva como consecuencia la disminución del pH en la solución del suelo (Osorio, 2012).

Caso contrario, un suelo alcalino se determina por altas cantidades de calcio y magnesio presente en la solución del suelo, lo que ocasiona un aumento mayor a 8.0 en el pH creando un antagonismo que afecta de manera directa la asimilación de iones como hierro, manganeso, cobre, zinc y fósforo (Sierra, 1982).

Los elementos del suelo se ponen a disposición de las plantas en diferentes grados de asimilación, siendo los macronutrientes escasamente aprovechables en situaciones donde el pH sea menor a 6.0, limitando los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , excluyendo al molibdeno que se encuentra disponible aun en medios ácidos, y en suelos alcalinos existen muchas bases de cambio pero la asimilación es limitada debido a la presencia del carbonatos inhibiendo la asimilación de microelementos (Guerrero, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en un invernadero de baja tecnología, ubicado dentro del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada al sur de Saltillo, dentro de la región sureste de Coahuila. En la región se encuentran suelos con textura franca. El análisis de suelo arrojó los datos que a continuación se detallan:

- 3.2% de materia orgánica
- Punto de saturación de 43%
- Capacidad de campo de 22.9%,
- Densidad aparente de 1.13 g cm^{-3}
- Contenido de carbonatos de 55.8%,
- pH de 8.07,
- CE de 6.93 dS m^{-1}
- Saturación de bases de 70.6% Ca^{2+} equivalente a $18.5 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$, 13.9% Mg^{2+} equivalente a $3.64 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$, 4.12% K^{+} equivalente a $1.08 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$ y 11.3% Na^{+} equivalente a $2.95 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$.

Como complemento al análisis de suelo, se realizó la medición de iones de NO_3^- , Ca^{2+} , K^{+} , Na^{+} , pH y CE en extracto saturado de pasta de suelo, obteniéndose los siguientes datos para macroelementos (mEq L^{-1}): $\text{NO}_3^- = 2.25$; $\text{Ca}^{2+} = 7.5$; $\text{K}^{+} = 2.3$; $\text{Na}^{+} = 7.39$, mientras que se obtuvieron los valores de: pH= 8 y CE= 6 dS m^{-1} .

Del mismo modo, el análisis de agua, presentó los siguientes datos para macroelementos y otros compuestos (mEq L^{-1}): $\text{NO}_3^- = 0.53$; $\text{SO}_4^{2-} = 1.11$; $\text{Cl}^- = 1.73$; $\text{HCO}_3^- = 6.6$; $\text{Ca}^{2+} = 4.48$; $\text{K}^{+} = 0.15$; $\text{Mg}^{2+} = 2.4$; $\text{Na}^{+} = 2.52$; mientras que para microelementos se obtuvieron los siguientes valores (mg L^{-1}): B=0.27; Fe=0.07;

Mn=0.069; Cu= 0.003; Zn=0.167; As= 0.015; del mismo modo, algunos parámetros presentaron los siguientes valores: pH= 7.68; CE= 0.96 dS m⁻¹, RAS= 1.36 y RAS_{aj}=1.68.

3.2 Material genético

Para el presente experimento se emplearon plántulas de tomate roma, de crecimiento indeterminado, con poda de formación a dos tallos. Dicha plántula estuvo formada por el portainjerto Espartaco F1 (Harris & Moran, CA, USA) y el injerto Benedetti (Enza Zaden, Enkhuizen, NL).

3.3 Diseño Experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cuatro diferentes concentraciones de solución Steiner modificada para el cultivo de tomate: 1) 50%, 2) 75%, 3) 100% y 4) 125% (SN50, SN75, SN100 y SN125) aplicadas mediante fertirriego al suelo. La solución nutritiva a concentración normal (SN100) presentó los siguientes requerimientos minerales para macroelementos (mEq L⁻¹): NO₃⁻ (15), H₂PO₄⁻ (2), SO₄²⁻ (5), K⁺ (9), Ca²⁺ (10), Mg²⁺ (3) y de los microelementos en mg L⁻¹: Fe (1.5), Mn (0.6), Zn (0.2), B (0.5), Cu (0.15) y Mo (0.05), con un pH de 6.1 y CE de 2.53 dS m⁻¹.

3.4 Variables evaluadas

Se consideraron variables que permitieran realizar un análisis estadístico concluyente en relación a los objetivos de investigación planteados, así, se tomaron en cuenta las siguientes variables de acuerdo a los objetivos:

Objetivo 1 y 2

Los pulsos de fertirriego se aplicaron cuando las lecturas de tensión de humedad de un sensor de matriz granular para humedad de suelo Watermark (Irrometer Company, Inc., CA, USA) marcaron de 60 a 80 centibares. La solución del suelo se extrajo de

forma semanal, utilizando lisímetros de succión o chupatubos SSAT 12" (Irrometer Company, Inc., CA, USA) los cuales fueron insertados a 35 cm entre plantas y a 20 cm de profundidad de suelo (Hernández Díaz et al., 2014). Con ayuda de una bomba de vacío SSAT 1002 Vacuum Pump (Irrometer Company, Inc., Riverside, CA, EUA) se aplicó vacío a 60 kPa, a los 15 minutos después de aplicar el primer riego del día (Canales-Almendares et al., 2021) manteniéndose por una hora, periodo después del cual, se extrajo la solución del suelo acumulada, con jeringas de 40 mL.

Concentración de iones NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} en solución de suelo. Se midió la concentración de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} , empleando electrodos de ion selectivo o ionómetros (HORIBA, Kyoto, Japón) con los modelos LAQUAtwin- NO_3 -11, K-11 y Ca-11 respectivamente, los cuales estaban calibrados a dos puntos (150 y 2000 ppm), expresándose los resultados en mg L^{-1} .

pH y Conductividad eléctrica (CE) de solución de suelo: Empleando electrodos de ion selectivo o ionómetros LAQUAtwin pH-11 y EC-11 (HORIBA, Kyoto, Japón) calibrados a dos puntos (4.0 y 7.0 para pH y 1.41- 12.9 mS cm^{-1} para CE) se midieron los valores de pH y CE. Los resultados se midieron en rangos de 0 a 14 para pH y se expresaron en dS m^{-1} para CE.

Objetivo 3

Variables de Crecimiento

Diámetro de tallo: Utilizando un vernier digital CD-8 (Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japón) se midió de forma semanal, el diámetro de los tallos a 2 cm antes de la primera bifurcación, se midieron seis plantas por cada tratamiento y bloque, se analizaron los valores promedio obtenidos hasta los 160 días DDT, los resultados se expresaron en mm.

Longitud de los tallos superior e inferior: De forma semanal, se midieron los dos tallos de las mismas seis plantas por tratamiento, a partir de la bifurcación, se consideraron los valores promedio obtenidos hasta los 160 DDT. Los resultados se expresaron en cm.

Objetivo 4

Variables Fisiológicas

Conductancia estomática: Cuando las plantas tenían 75 DDT y de forma semanal, empleando porómetro Leaf Porometer SC-1 (Decagon Devices, Inc., WA, USA) el cual funciona bajo la técnica del estado estacionario citada y descrita por Pask et al., (2013) se realizaron mediciones durante tres momentos del día (8:00, 12:00 y 16:00) por 11 semanas. Los resultados se expresaron en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de vapor de agua.

Contenido de clorofila a, b y total en hoja: Cuando las plantas tenían 260 DDT y aplicando la técnica propuesta por (Munira et al., 2015) para la obtención de clorofila en tejido fresco, se colectaron muestras de la lámina foliar de la tercer hoja completamente desarrollada de tres plantas, guardándose en refrigeración mientras se colectaba el total de muestras, durante una hora a 4-5 °C. Una vez colectadas en campo, se trasladaron y sometieron a ultracongelación a -80 °C por dos días en laboratorio. Bajo estas mismas condiciones, se pesó 1 g de tejido vegetal, el cual se maceró en frío y se mezcló con 100 ml de acetona al 90% y 1 g de carbonato de magnesio como solución extractora. La mezcla obtenida se filtró a matraces cubiertos con papel aluminio, para el filtrado se emplearon filtros Whatman No. 1. Se midió absorbancia del extracto obtenido a 663 y 645 nm empleando acetona al 90% como blanco.

Para determinar el contenido de clorofila a, b y total del tejido evaluado, se emplearon las siguientes ecuaciones (Munira et al., 2015):

$$\text{Clorofila a} = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}) \times (V / (1,000 \times W))$$

$$\text{Clorofila b} = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663}) \times (V / (1,000 \times W))$$

$$\text{Clorofila total (a+b)} = ((8.02 \times A_{663}) + (20.20 \times A_{645})) \times (V / (1,000 \times W))$$

Los resultados se expresaron en $\text{mg clorofila g}^{-1}$ en tejido fresco.

Objetivo 5

Variables de Calidad Comercial y Rendimiento

Los muestreos y mediciones se realizaron del primer al décimo racimo. La obtención de los frutos se realizó en madurez etapa 4 (Pink) la cual se caracteriza por presentar tonalidad rosa-rojo en más del 30% y menos del 60% del fruto (USDA, 1975).

Firmeza del fruto: Se muestrearon tres frutos por tratamiento y por racimo con las condiciones ya descritas. Para ello se empleó un penetrómetro con una punta de calibre 8 mm (Qa Supplies, VA, USA), expresando los resultados en kg cm^{-2} .

Sólidos solubles totales: Utilizando refractómetro portátil Bx-1 (Vee Gee, IL, USA) se obtuvo el jugo de tres frutos por tratamiento para cada racimo, obteniéndose los valores de sólidos solubles, expresados en grados Brix (%).

Peso promedio del fruto: Con ayuda de una balanza digital SPX2202 (Ohaus, NJ, USA) se obtuvo el PPF, para ello se dividió el rendimiento del tratamiento por m^2 entre la cantidad de frutos cosechados. El resultado se expresó en g fruto^{-1} .

Rendimiento por hectárea: Se calculó de forma aproximada, considerando los rendimientos de cada tratamiento por m^2 extrapolando los resultados a una hectárea. Los resultados se expresaron en t ha^{-1} .

3.5 Análisis estadístico

Para realizar un análisis concluyente, se realizaron análisis de varianza ($P \leq 0.05$) bajo un modelo de bloques completos al azar y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) a las variables de concentraciones medias de iones, pH y CE del periodo de muestreo, variables fisiológicas, de calidad de fruto y rendimiento. Para ello se empleó el paquete estadístico Infostat V. 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

3.6 Metodología experimental

Para la preparación del suelo se comenzó a retirar residuos de la cosecha anterior, quitando acolchado, materia orgánica, cintillas, maleza, etc., después de ello se aflojó el terreno con ayuda de azadones y picos hasta lograr la descompactación del suelo.

Las camas se realizaron haciendo surcos de 1.2 metros de ancho por 16 metros de largo, posteriormente se colocó el sistema de riego que consta de cintilla con emisores con un gasto de 1.013 Lph, conectado a su respectivo reservorio para la aplicación de fertilizantes.

El acolchado se realizó de forma manual colocando el plástico de polietileno color gris-plata, posteriormente se realizó un canal con ayuda de un azadón en las orillas del surco para enterrar el sobrante del plástico. Antes del trasplante se aplicó un riego pesado, después se llevó a cabo el trasplante, tres días posteriores al riego.

Los turoreos se realizaron de manera semanal, estos consistían en conducir un hilo de rafia sobre las plantas para que la planta se mantuviera erecta, durante esta práctica de manera simultánea se iban eliminando los brotes axilares que aparecían entre los tallos y peciolos de las hojas.

Para el deshoje se utilizaron tijeras para poda, con las cuales se eliminaron las hojas viejas de las partes inferiores hasta la altura del nuevo racimo en desarrollo, dejando una hoja por encima de este, utilizando una solución con sulfato de cobre para sanitizar la herramienta utilizada después de cada planta.

Respecto al manejo sanitario, se hicieron aplicaciones periódicas de Neem Organic, Malathion, Engeo, Cipermetrina, Imidacloprid, Aramadura, Agriguard, Oxicob, Tecto, Curamycin y Manzeb para evitar la propagación de insectos, bacterias y hongos. Estas aplicaciones se realizaron de manera semanal ya sea de forma individual para insecticidas y en conjunto para bactericidas y fungicidas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración de iones en solución del suelo

La concentración de iones biodisponibles en la solución del suelo, después de los muestreos realizados durante el periodo de medición, generó los resultados que se presentan en el cuadro 1.

De esta manera, para el ion NO_3^- , se observa que el tratamiento con SF125 superó a los demás tratamientos, como se observa SF125>SF100>SF75>SF50. En términos porcentuales, SF125 supero por 59.6, 132.86 y 241.05 % a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Respecto al ion K^+ , el tratamiento SF125 se fue superior a los demás tratamientos, como se puede observar SF125>SF100>SF75>SF50. Superando porcentualmente por 34.05, 22.30 y 115.08% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

En cuanto al caso del ion Ca^{2+} , el tratamiento SF125 logró superar a los demás tratamientos, lo que se observa como SF125>SF100>SF75>SF50. Reflejándose superior de manera porcentual por 37.15, 58.13, y 63.91% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Cuadro 1. Valores promedio para la cantidad disponible de iones NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y CE en la solución del suelo mediante la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) en el cultivo de tomate.

Tratamientos	Concentración de iones y CE en solución del suelo			
	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}	CE
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	dS m ⁻¹
SF50%	385.46±12.00 c	155.41±12.55 b	264.59±54.13 b	1.93±0.17 b
SF75%	564.41±60.49 bc	273.31±59.85 ab	274.26±9.37 b	2.33±0.02 b
SF100%	823.70±154.54 b	249.35±26.82 ab	316.22±28.56 ab	2.35±0.13 b
F125%	1314.63±243.51 a [†]	334.26±39.96 a	433.71±55.49 a	3.08±0.41 a
Media	772.05	253.08	322.2	2.42
Tukey ($p \leq 0.05$)	392.93	120.54	121.19	0.64

SF50= Solución fertilizante al 50%, SF75= Solución fertilizante al 75%, SF100= Solución fertilizante al 100%, SF125= Solución fertilizante al 125%, NO_3^- = Concentración de ion nitrato, K^+ = Concentración de ion Potasio, Ca^{2+} = Concentración de ion Calcio, CE= Conductividad Eléctrica; Grupos con letras iguales son estadísticamente similares.

Las altas concentraciones de NO_3^- en solución del suelo, con valores próximos a los aportados por la solución nutritiva o incluso superiores a los esperados, se deben a que el nitrato al ser un anión, no participa en los procesos de intercambio iónico con el suelo (Hernández Díaz et al., 2014), sufriendo en cambio otros procesos como lixiviación y desnitrificación o inmovilización microbiana favorecida por la materia orgánica (Subler et al., 1995).

La adición de sulfatos a la solución nutritiva tiene como efecto la disminución del pH, como consecuencia de la lixiviación del calcio (Hernandez et al., 2003), por otra parte los ácidos orgánicos reducen el pH del área radicular debido a la liberación de H^+ por la planta para poder absorber cationes (Mengel & Kirkby, 2000).

En los tratamientos SF100, SF75 y SF50 la concentración del K^+ y Ca^{2+} se mostraron similares de manera estadística, mientras que en el SN125 la CE presentó un aumento debido al aporte de iones en la solución nutritiva. Por lo que se puede explicar que

debido a la cantidad de aniones y cationes que se aportan en la solución fertilizante, así como en la solución del suelo y en el aporte hídrico, se genera un aumento en proporción a la concentración de la solución nutritiva (Lao et al., 2004).

4.2 Variables de crecimiento

Los resultados reflejados en el crecimiento de la planta después de los muestreos realizados durante el periodo de medición, generaron los resultados que se presentan en el cuadro 2.

Para DTP el tratamiento SF125 se mostró superior a los demás tratamientos, observándose como SF125>SF100>SF75>SF50. En lo que a términos porcentuales se refiere este tratamiento superó por 1.62, 2.35 y 7.64% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

En caso de LTI el tratamiento SF125 rebasó al resto de los tratamientos, observándose SF125>SF100>SF75>SF50. Siendo SF125 superior por 1.14, 7.20 y 13.10% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Respecto a LTS el tratamiento SF125 se mostró superior a los demás tratamientos, pudiéndose describir como SF125>SF100>SF75>SF50. Siendo superior porcentualmente por 5.18, 5.96 y 21.72% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Cuadro 2. Valores promedio de variables de crecimiento en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva fertiirrigación en cultivo de tomate en suelo.

Tratamiento	Variables de crecimiento		
	DTP	LTI	LTS
	mm	cm	cm
SF50%	18.58±0.77 b	399.61±23.89 b	379.61±28.05 b
SF75%	19.54±0.29 a	421.61±32.95 ab	436.11±11.21 a
SF100%	19.68±0.34 a	446.89±3.22 ab	439.28±9.89 a

SF125%	20±0.25 a	451.99±7.20 a†	462.07±15.73 a
Media	19.45	430.03	429.27
Tukey ($p \leq 0.05$)	0.73	51.74	43.91

SF50= Solución fertilizante al 50%, SF75= Solución fertilizante al 75%, SF100= Solución fertilizante al 100%, SF125= Solución fertilizante al 125%, DTP= Diámetro de tallo principal, LTI= Longitud del tallo inferior, LTS= Longitud del tallo superior; Grupos con letras iguales son estadísticamente similares.

La utilización de acolchado en la agricultura tiene un efecto con gran significación puesto que disminuye la evaporación del agua en el suelo, ayudando a mantener una alta concentración de nutrientes, haciendo más disponibles los iones de N y P lo que beneficia el desarrollo vegetativo de la planta (Eladio et al., 2018). El NO_3^- disponible en la solución del suelo funciona como precursor de proteínas estructurales y de aminoácidos y Ca^{2+} ayuda a la formación de estructuras en la pared celular, por lo que su aporte en niveles adecuados genera óptimo crecimiento de la planta. Por el contrario, la reducción en la concentración de la solución nutritiva incentiva la deficiencia de nutrientes como P, Fe y Mg, provocando reducción en la síntesis de clorofila, ATP y ADP que requiere una planta para su desarrollo.

4.3 Variables fisiológicas

La respuesta de los tratamientos a la conductancia estomática (CEst) mostraron valores más altos en el muestreo de las 12:00 h (CEst2), siendo superior a las respuestas a los muestreos de las 08:00 h (CEst1), las cuales presentan valores intermedios, y el muestreo de las 16:00 h (CEst3), en donde se registraron valores menores en comparación a los demás muestreos.

En el muestro de CEst¹ el tratamiento SF125 presentó mayor respuesta en comparación con los demás tratamientos, logrando observarse como SF125>SF100>SF75>SF50. Siendo superior porcentualmente por 9.94, 18.3 y 34.02% a SF100, SF75 y SF50 de forma respectiva.

Para CEst² se observa como SF125>SF100>SF75>SF50. Siendo el tratamiento SF125 el de mayor respuesta comparado con el resto de los tratamientos, teniendo por un porcentaje más alto por 12.23, 22.48 y 44.46% con respecto a SF100, SF75 y SF50.

Por otro lado, la CEst³ tuvo mejor resultado en el tratamiento SF125 comparándose con los demás tratamientos. De este modo se puede representar que SF125 se observó superior a SF100, SF75 y SF50 por un porcentaje de 15.33, 27.95 y 43.79% de forma respectiva. Lo que se refleja como SF125>SF100>SF75>SF50.

Para la cuantificación de clorofila “a” (CI A), “b” (CI B) y total (CI T), en todos los casos se observó como respuesta SF125>SF100>SF75>SF50. De forma que porcentualmente SF125 en CI A supero por 3.48, 8.53 y 21.91% a SF100, SF75 y SF50 de forma respectiva, mientras que SF125 en CI B tuvo un porcentaje mayor por 10, 22.22 y 57.14% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente. Y por último el tratamiento SF125 en CI T fue superior por 5.71, 9.90 y 26.13% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Cuadro 3. Valores promedio de la variable conductancia estomática y contenida de clorofila “a”, “b” y total en tejido fresco, en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertiirrigación.

Tratamiento	Variables fisiológicas					
	CEst ¹	CEst ²	CEst ³	CI A	CI B	CI T
	mmol m ⁻² s ⁻¹	mmol m ⁻² s ⁻¹	mmol m ⁻² s ⁻¹	mg g ⁻¹	mg g ⁻¹	mg g ⁻¹
SF50%	391.52±29.60 c	432.04±12.00 c	336.1±16.15 d	0.73±0.05 c	0.14±0.02 c	0.88±0.08 c
SF75%	443.24±34.37 b	509.56±17.71 b	377.73±26.37 c	0.82±0.01 b	0.18±0.01 b	1.01±0.02 ab
SF100%	477.26±41.88 b	556.13±20.10 b	418.97±19.87 b	0.86±0.02 ab	0.2±0.01 b	1.05±0.02 b
SF125%	524.74±63.59 a	624.16±19.00 a	483.31±25.31 a [†]	0.89±0.01 a	0.22±0.01 a	1.11±0.02 a
Media	459.19	530.47	404.03	0.83	0.19	1.01
Tukey (p≤0.05)	45.85	47.91	32.71	0.06	0.03	0.09

SF50= Solución fertilizante al 50%, SF75= Solución fertilizante al 75%, SF100= Solución fertilizante al 100%, SF125= Solución fertilizante al 125%, CEst¹= Conductividad estomática momento 1, CEst²= Conductividad estomática momento 2, CEst³= Conductividad estomática momento 3, CI A= Contenido de clorofila “A”, CI B=

Contenido de clorofila "B", CI T= Contenido de clorofila Total; Grupos con letras iguales son estadísticamente similares.

Factores abióticos como temperatura o la cantidad de iones disponibles para la planta pueden afectar la actividad fotosintética (Yepes & Buckeridge, 2011), que se encuentra directamente relacionada con la conductancia estomática (Yuste & Vicente, 2014). Cuando son entre las 12:00 y las 14:00 h el ambiente llega a su máxima temperatura, por lo que incrementa la actividad estomática. Una escasa fertilización y deficiencia de nutrientes en tomate, traen como resultado una baja CEst que se relaciona con las concentraciones de citoquinina (Glanz-Idan & Wolf, 2020). Una baja concentración de K^+ puede ocasionar una disminución en la CEst en las plantas (Dell Amico Rodríguez & Morales Guevara, 2017).

4.4 Variables de calidad de fruto y rendimiento

Los resultados arrojados después de los muestreos realizados durante el periodo de medición de calidad de fruto y rendimiento, generaron los resultados que se presentan en los cuadros 4 y 5.

De esta manera se observa que el tratamiento SF125 de FF se mostró superior al resto de los tratamientos, mostrando como resultado SF125>SF100>SF75>SF50. Pudiéndose observar de forma porcentual que SF125 superó por 11.54, 17.66 y 28.70% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Por otra parte, el tratamiento SF125 para SST superó a los otros tratamientos, observándose como SF125>SF100>SF75>SF50. Arrojando un porcentaje mayor por 3.71, 7.93 y 12.78% a SF100, SF75 y SF50 de manera respectiva.

Cuadro 4. Valores promedio de la variable firmeza de fruto y sólidos solubles totales en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertirrigación.

Tratamiento	Variables de calidad comercial	
	FF	SST
	kg cm ⁻²	% °Brix
SF50%	5.33±0.13 c	4.46±0.13 d
SF75%	5.83±0.04 b	4.66±0.06 c
SF100%	6.15±0.20 b	4.85±0.11 b
SF125%	6.86±0.28 a	5.03±0.07 a
Media	6.04	4.75
Tukey ($p \leq 0.05$)	0.39	0.1

SF50= Solución fertilizante al 50%, SF75= Solución fertilizante al 75%, SF100= Solución fertilizante al 100%, SF125= Solución fertilizante al 125%, FF= Firmeza del fruto, SST= Sólidos solubles totales; Grupos con letras iguales son estadísticamente similares.

La FF del fruto se puede ver afectado por la nutrición mineral la cual puede aumentar los resultados de esta variable pudiendo obtener valores de hasta 4.63 kg cm⁻² (Bilalis et al., 2018). La FF tiene respuesta directa por la cantidad de Ca²⁺ disponible, dado de que este elemento forma parte de los nutrientes de mayor importancia para el desarrollo de las plantas y el crecimiento del fruto (Parra Terraza et al., 2008). La asimilación de Ca²⁺ se ve afectada cuando existe una disponibilidad de agua limitada o la presencia de elementos salinos en la solución del suelo (Pérez-Labrada et al., 2019).

En PPF los tratamientos se observaron como SF125>SF100>SF75>SF50. Siendo el tratamiento SF125 porcentualmente mayor a los demás tratamientos por 19.18, 32.66 y 58.88% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente.

Respecto al REND la respuesta al tratamiento SF125 se mostró superior al resto de los tratamientos, observándose como SF125>SF100>SF75>SF50. De esta manera el

tratamiento SF125 rebasó en términos porcentuales por 19.18, 32.66 y 58.88% a SF100, SF75 y SF50 de forma respectiva.

Cuadro 5. Valores promedio de la variable rendimiento, numero de frutos por racimo y peso promedio de fruto en respuesta a la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva mediante fertiirrigación.

Tratamiento	Variables de producción	
	PPF g	REND ton ha ⁻¹
SF50%	79.07±3.98 b	186.79±25.38 d
SF75%	82.16±3.09 ab	223.7±21.43 c
SF100%	80.86±1.31 ab	249.01±27.26 b
SF125%	84.77±3.87 a	296.78±19.69 a
Media	81.72	239.07
Tukey ($p \leq 0.05$)	4.96	12.82

SF50= Solución fertilizante al 50%, SF75= Solución fertilizante al 75%, SF100= Solución fertilizante al 100%, SF125= Solución fertilizante al 125%, Media= Valores promedio, PPF= Peso promedio del fruto, REND= Rendimiento del fruto; Grupos con letras iguales son estadísticamente similares.

La disminución del rendimiento de SF125 con respecto a los demás tratamientos es debido a la baja concentración de nutrientes que son aplicados para satisfacer los requerimientos del cultivo (Mengel & Kirkby, 2000).

V. CONCLUSIONES

El uso de soluciones nutritivas en base a Steiner de forma frecuente para la fertirrigación al 50, 75, 100 y 125% en el cultivo de tomate, ocasionan un impacto que se ve reflejado directamente en desarrollo de la planta, específicamente en las variables de crecimiento, fisiológicas, calidad comercial y rendimiento, dado que se genera una mayor concentración de iones asimilables en la solución del suelo. Siendo las aplicaciones de solución nutritiva al 100 y 125% las más eficientes, ya que fue donde se obtuvieron los mejores resultados, pudiéndose realizar una reducción en el uso de la fertilización de Ca^{2+} , monitoreando este elemento en la solución del suelo. La aplicación de soluciones concentradas desde el inicio de la producción puede ayudar a recuperar niveles suficientes de K^+ y otros iones deficientes en el suelo, provocados por el desbalance iónico y el desgaste propio de la actividad agrícola.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguado Lara, G., Etchevers Barra, J. D., Hidalgo Moreno, C., Galvis Spínola, A., & Aguirre Gómez, A. (2002). Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*, 36, 11–21.
- Allen V, B., & David J, P. (2007). *Handbook Plant Nutrition*. Taylor y Francis Group.
- Allende, M., Salinas, L., Rodríguez, F., Olivares, N., Riquelme, J., Antúñez, A., Martínez, J., Corradini, F., Sepúlveda, P., Abarca, P., Guzmán, A. & Felmer, S. (2017). Manual de Cultivo del tomate bajo invernadero, *Boletín INIA*, 377, 12.
- Álvarez-Hernández, J. C. (2012). Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agronomica*, 61(2), 117–125.
- Aranda Saltos, S. E. & Vazconez Montúfar, G. H. (2022). Cationes de intercambio en un transecto de suelo derivado de materiales volcanicos y su relacion con la acidez (1ª Ed.) Quevedo.
- Ardila, J. (2017). Siembra de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), con buenas prácticas agrícolas en el municipio de Guadalupe Santander [Tesis de Grado, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=ingenieria_agronomica
- Aynalem, B. (2022). Empirical Review of *Tuta absoluta* Meyrick Effect on the Tomato Production and Their Protection Attempts. *Advances in Agriculture*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2595470>
- Balázs, L., & Pungor, E. (1997). Anwendung von Methylglukamin-Maßlösung bei Säuretitrationen mit Hochfrequenz-Endpunktanzeige. *Mikrochimica Acta*, 50(1–2), 309–313. <https://doi.org/10.1007/BF01220356>
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Mata, D. A. (2005). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. *Instituto de Floricultura CIRN*, 1–15. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- Baudoin, A. (2017). *Manual Tecnico de Produccion de tomate con enfoque de Buenas Prcticas Agrícolas* (1ª). Proagro.
- Bilalis, Di., Krokida, M., Roussis, I., Papastylianou, P., Travlos, I., Cheimona, N., & Dede, A. (2018). Effects of organic and inorganic fertilization on yield and quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Folia Horticulturae*, 30(2), 321–332. <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0027>
- Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2002). NH₄⁺ toxicity in higher plants: A critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159(6), 567–584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>

- Bueno Buelvas, R., & Fernández Lizarazo, J. C. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito Investigativo*, 4(1), 7–12. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ai>
- Campos, M. D., Félix, M. do R., Patanita, M., Materatski, P., & Varanda, C. (2021). High throughput sequencing unravels tomato-pathogen interactions towards a sustainable plant breeding. *Horticulture Research*, 8(1), 171. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00607-x>
- Canales-Almendares, J. E., Borrego-Escalante, F., Narvaez-Ortíz, W. A., González-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2021). Impacto de diferentes fertilizantes en la solución del suelo y el crecimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 105–117. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2941>
- Carbonero Zalduegui, P. (1984). *Química del suelo y los fertilizantes* (3ª). Universidad de Madrid
- Casierra Posada, F., & Vargas Perez, N. J. (2015). *Fisiología del crecimiento y la nutrición de cebolla de bulbo en condiciones tropicales* (1ª). UPTC
- Celaya-Michel, H., & Castellano-Villegas, A. (2011). Nitrogen mineralization on arid and semi-arid land soil. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343–356. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n3/2395-8030-tl-29-03-00343.pdf><http://www.cabdirect.org/abstracts/20123049100.html>
- Cepeda Siller, M. (2009). *El tomate rojo: Cultivo y control parasitológico* (1ª). Mexico: Trillas.
- Conti, M. E. (2000). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas Del Cono Sur*, 8(1017), 25–37.
- Cremona, M. V., & Enríquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, 5–8. <https://inta.gob.ar/documentos/revista-presencia-nº-73>
- Del Pinto, M. (2022). *Curso de horticultura y floricultura año 2022 guía didáctica: cultivo y manejo de tomate fresco*. UNLP https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/101136/mod_folder/content/0/Gu%C3%ADa%20de%20Tomate%202022.pdf?forcedownload=1
- Dell Amico Rodríguez, J. . ., & Morales Guevara, D. M. (2017). Comportamiento de la conductancia estomática de dos variedades de tomate cubanas en condiciones de campo y riego limitado. *Cultivos Tropicales*, 38, 137–144.
- Díaz-vázquez, F. A., Cabrera-De la Fuente, M., Benavides-mendoza, A., Robledotorres, V., Juárez-maldonado, A., & Sandoval-rangel, Alberto García-león, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Terra Latinoamericana*, 41, 1–12.
- Eladio, D. R., Carlos, C. P., Fernando, P. V., Soria, E., Rubén, Á., & Siorda, R. (2018). Clasificación de acolchados y su implementación en la retención de humedad del

suelo Resumen Introducción Clasificación general de los acolchados. *Jovenes En La Ciencia*, 16, 1–9.

- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de Producción De Tomate Bajo Invernadero* (2ª). CIAA. <https://doi.org/10.2307/j.ctv23dxc51.6>
- Figueroa-Barrera, A., Alvarez-Herrera, J., Forero, A., Salamanca, C., & Pinzón, L. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios*, 17(1), 32–43. <https://doi.org/10.21897/rta.v17i1.694>
- Flores, J., Ojeda, B. W., López, I., & Rojano, a I. (2007). Water Requirements for Greenhouse Tomato. *Terra Latinoamericana*, 25 (2), 127–134.
- Gamarra, C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 4–26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- García-Galindo, L. A., Capera-Rivas, A., Mayorquín, N., & Melendez, J. P. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados Microbiological alternatives for the remediation of soils and water contaminated with nitrogen fertilizers. *Scientia et Technica Año XXV*, 25(01), 172–182. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7368100>
- Glanz-Idan, N., & Wolf, S. (2020). Upregulation of photosynthesis in mineral nutrition-deficient tomato plants by reduced source-to-sink ratio. *Plant Signaling and Behavior*, 15(2), 309-3013. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1712543>
- González López, H. (2013). *Efecto de la Concentración de Calcio y Potasio en la Solución de Fertirriego en Tomate Bajo Invernadero* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5866/T19976%20%20GONZALEZ%20LOPEZ,%20HORACIO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Guerrero, A. (2000). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos* (1ª). Mundi-Prensa.
- Guzmán, D., & Montero, J. (2021). Interaction of bacteria and plants in nitrogen fixation. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101. <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M., Moreno Placeres, V., Igarza Sánchez, A., & Ojeda Veloz, A. (2014). Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate. *Idesia*, 32(2), 79–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200011>
- Hernandez, J. C., Orihuela, D. L., Pérez-Mohedano, S., Maríjuan, L., & Furet, N. R. (2003). Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en columnas de suelos calizos. *Estudios de La Zona No Saturada Del Suelo*, 6, 99–

- Hervé, D., Ledezma, R., Orsag, V., & Flores, M. (2002). *Limitantes y Manejo de los Suelos Salinos y/o Sódicos en el Altiplano Boliviano (1ª)*. CONDENSAN http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-08/010029752.pdf
- Iglesias, N. (2015). *Tomate en invernadero: Estudios referidos a aspectos de ecofisiología de la producción forzada para las condiciones del norte de la Patagonia*. INTA, Estacion Experimental Valle Alto
- J. Fornaris, G. (2007). Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate: Características de la planta. *Universidad de Puerto Rico - Estacion Experimental Agrícola*, 6, 1-6 <http://136.145.11.14/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Características-de-la-Planta-v2007.pdf>
- Jímenez Benavente, E. (2022). *Asimilacion y removilizacion de nitrógeno en cultivares de tomate con eficiencia en el uso de nitrógeno diferencial. Efecto de la edad de la hojas y del aporte de nitrógeno* [Tesis de Grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185373/Jimenez%20-%20Asimilacion%20y%20removilizacion%20de%20nitrogeno%20en%20cultivares%20de%20tomate%20con%20eficiencia%20en%20el%20....pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Jiménez Leiva, A. (2019). *Caracterización molecular de las proteínas FixK 2 y NnrR que controlan la desnitrificación en Bradyrhizobium diazoefficiens* [Tesis de Doctorado, Universidad de Granada] <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/59614/69131.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Vilchez Melo, J. C. (2021). *Propuesta para mejorar la calidad de agua para riego, implementando una unidad de tratamiento con iones de Ferrato (VI)* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5311/vilchez-melo-juan-carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Karki, A., & Dawadi, E. (2022). A review on post-harvest handling practices of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Food and Agri Economics Review* (2), 100–103. <https://doi.org/10.26480/faer.02.2022.100.103>
- Lamz Piedra, A., & Gonzáles Cepero, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31–42.
- Lao, M. T., Jimenez, S., Eymar, E., & Fernández, E. J. (2004). Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. *Phyton*, 29–37 <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AR2010L00003>
- Lara Herrera, A. (2000). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 17(2395–8030), 221–229.

- Larriva Coronel, N. (2003). *Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas*. Facultad de ciencias pecuarias y agroalimentarias
- Liang, Y., Si, J., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W., & Jiang, Y. (2005). Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(6), 1185–1195. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.017>
- Lloret-Pastor, F. (2022). Fijación biológica del nitrógeno y síntesis del nitrato: usos y aplicaciones. *Anales de Química*, 118(4), 248–257.
- López Hernández, D., Mahia, M. A., Meléndez, W., & López Contreras, A. Y. (2021). Fijación de potasio y competencia con amonio en un suelo con arcillas expansivas. *Bioagro*, 33(3), 229–233.
- Lopez Marin, L. M. (2016). *Manual técnico del cultivo de tomate Solanum lycopersicum* (L. Ramirez Cartin (1ª). INTA
- López Pérez, J. P., & Boronat Gil, R. (2016). Aspectos básicos de la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de bacterias. Estudio en el laboratorio de educación secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 13(1), 203–209. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.15
- Lozano-Rivas, W. A. (2018). *Suelos* (1ª). Universidad Piloto de Colombia <https://doi.org/10.2307/j.ctv8j5r0>
- Mahia Masip, M. (2018). *Estudio de la competencia iónica en la fijación de potasio (k+) y amonio (nh4+) en arcillas tipo 2:1 presentes en un suelo de ocumare del tuy, estado miranda* [Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela]. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19754/1/Proyecto%20Geoqu%c3%admico%20II%2c%20Mahia.%20Final.pdf>
- Marín, L. M. L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate*. INTA <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf> <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf> <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3143/1/BVE17079148e.pdf> <http://www.inta.go.cr> <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3143/1/BVE1707>
- Marquez Martinez, A. (2020). *Desarrollo de sustrato a base de cascarilla de cafe para producción de plantula de tomate (Solanum lycopersicum L.)*. [Tesis de Grado, Universidad Autónoma Del Estado De México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109929/Tesis%20Alejandro%20M%c3%a1rquez%20Mart%c3%adnez%20sin%20datos%20sensibles.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3ª). Mineral nutrition of higher plants. Elsevier
- Martinez, S. (2007). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate: Suelo y*

Preparacion Del Terreno. Estacion Experimental Agrícola upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Suelo-y-Preparación-del-Terreno-v2007.pdf

McKean, S. J. (1993). *Manual De Analisis De Suelos Y Tejido Vegeta -Guia Teorica Y Practica De Metodologias*. Laboratorio de Servicios Analiticos CIAT.

McNeill, A., & Unkovich, M. (2007). The Nitrogen Cycle in Terrestrial Ecosystems. *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*, 10, 37–64 https://doi.org/10.1007/978-3-540-68027-7_2

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de Nutrición V egetal* (4ª). Instituto Internacional de la Potasa.

Monardes, H. (2009). *Manual de cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill): Características botánicas*. Universidad de Chile

MONGE, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A., & Montañés, L. (1995). El calcio como nutriente para las plantas *An.Estac. Exp. Aula Dei (Zaragoza)*. N°3, 21(2), 189–201.

Montaño Méndez, I. E., Valenzuela Patrón, I. N., & Villavicencio López, K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1185–1197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>

Morales Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, A. R., & Morales-Rosales, E. J. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1875–1886. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1732>

Moscatelli, G., Lutens, I. A., & Gómez, L. A. (2001). Niveles de disponibilidad y reservas de potasio en Argentina. *International Potash Institute–Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 13–19.

Munira, S., Hossain, M., Zakaria, M., Ahmed, J., & Islam, M. (2015). Evaluation of Potato Varieties against Salinity Stress in Bangladesh. *International Journal of Plant & Soil Science*, 6(2), 73–81. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2015/15879>

Nuez, F. (2001). *El cultivo de tomate* (1ª). Grafo S. A.

Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4–7. [http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH del suelo y nutrientes_0.pdf](http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf)

Pacheco-Avila, J., Pat-Canul, R., & Cabrera-Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73–81.

Parra Terraza, S., Villarreal Romero, M., Sánchez Peña, P., Corrales Madrid, J. L., & Hernández Verdugo, S. (2008). Efecto del calcio y potencial osmótico de la

- solución nutritiva en la pudrición apical , composición mineral y rendimiento de tomate. *Interciencia*, 33, 449–456.
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2007). History, Origin and Early Cultivation of Tomato (Solanaceae). *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*. 2, 1–24
- Perdomo, C., Barbazán, M., & Duran, J. M. (2007). *Nitrógeno*. Área De Suelos Y Aguas <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo N.pdf>
- Pérez-Labrada, F., López-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Responses of Tomato Plants under Saline Stress to. *Plants*, 8(6), 1–17.
- Perez Castaño, A. E. (2019). *Respuesta de los inhibidores de la nitrificación en el suelo agrícola: Movilidad y permanencia*. [Tesis de Grado, Universidad Politecnica de Madrid]. <http://zaguán.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>
- POVEDA, V. (2010). *Tomate (Solanum lycopersicum L.)*. Jardín Botánico
- Quiñones, A., Bermejo, A., Martínez Alcántara, A., & Legaz, F. (2014). Absorción y translocación del calcio y nitrógeno en plantas jóvenes de cítricos cultivados en el suelo. *Levante Agrícola*, 2, 72–82.
- Rick, C. M., & Fobes, J. F. (1975). Allozyme Variation in the Cultivated Tomato and Closely Related Species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 102(6), 376–384. <https://doi.org/10.2307/2484764>
- Rivera Espejel, E. A., Sandolval Vila, M., Rodríguez Mendoza, M. de las N., Trejo López, C., & Gasga Peña, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(3), 57–70. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.12.069>
- Rivera, P., & Siqueira, M. L. (2008). *Cultivo del tomate*. Chemonics International Inc <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01CH517t.pdf>
- Roberts, D. M., & Harmon, A. C. (1992). Calcium-modulated proteins: Targets of intracellular calcium signals in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43(1), 375–414. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002111>
- Rodríguez Apaza, A. P. (2021). *Evaluación del efecto en la producción de dos variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) bajo sistema hidropónico (NFT) en la ciudad de el alto* [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/26644/T-2927.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez Rodríguez, R., Tabares Rodríguez, J. M., & Medina San Juan, J. A. (2001). *Cultivo Moderno del Tomate (2ª)*. Artes Gráficas Cuesta, S. A.
- Rodríguez S, M., & Flórez R, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. *Ferti-Riego Tecnologías y Programación En Agroplasticultura*, 3, 25–36.
- Romero Rosas, D., Balderas Sánchez, L. J., & Damián Garrido, A. (2022). *Evaluación*

de calci-comprimidos como preventivo de la pudrición apical en frutos de tomate. Universidad Tecnológica de Tecamachalco.

- Ruiz Herrera, B. L., González Angulo, J. A. C., & Barba Behrens, N. (2011). Cofactor FeMco (M = Mo, V, Fe) en la nitrogenasa. *Educación Química*, 19(1), 34. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2008.1.25739>
- Sánchez, L. R., Crespo, A. P., Botía, C. P., Sironi, J. S., & Sánchez, A. A. (2002). Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (CIDA)*, 17(2), 303–318.
- SIAP. (2021). *Reporte de la producción nacional de tomate.*
- Sierra B, C. (1982). *La acidez y alcalinidad de los suelos (pH).* Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Strawn, D. G., Bohn, H. L., & O'Connor, G. A. (2020). *Soil Chemistry* (4a). Wiley Blackwell
- Subler, S., Blair, J. M., & Edwards, C. A. (1995). Using Anion-Exchange Membranes To Measure. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(7), 911–917.
- Trejo-González, N., Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O., & Matmolejo-Santillán, Y. (2019). Tecnologías de remediación para suelos salinos. Un caso de estudio: México. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 10(1), 13–26. <https://www.executivebs.org/publishing.cl/avances-en-ciencias-e-ingenieria-vol-10-nro-1-ano-2019-articulo-2/>
- Vargas Ramirez, A. F., Ramírez, I. M., & Arroyave, A. F. (2022). Relación entre el PH y las mediciones de conductividad eléctrica en un suelo cultivable ubicado en Medellín, Colombia. *Ingenierías USBMed*, 13(2), 56–62. <https://doi.org/10.21500/20275846.4706>
- Vásquez, T. H. (2007). *Síntomas y causas de la deficiencia de calcio en el cultivo de tomate y su control.* Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Vistoso Gacitúa, E., & Martínez Lagos, J. (2020). Potasio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos. *INIA Remehue*, 259(2019), 1–4.
- Yepes, A., & Buckeridge, M. S. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (Revisión). *Colombia Forestal*, 14, 213–232.
- Yescas Coronado, P., Segura Castruita, M. A., Orozco Vidal, J. A., Enríquez Sánchez, M., Sánchez Sandoval, J. L., Frías Ramírez, J. E., Montemayor Trejo, J. A., & Preciado Rangel, P. (2011). Use of Different Substrates and Irrigation Frequencies to Reduce Leachate in Tomato Production. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 441–448. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000400441&script=sci_abstract&tlng=en
- Yuste, J., & Vicente, A. (2014). Fotosíntesis, Conductancia estomática y potencial

hídrico: relación y respuesta como indicadores del estado hídrico del cv. Verdejo, sometido a diferentes regímenes hídricos en la D. O. Rueda. *I Jornadas Del Grupo de Viticultura y Enología de La SECH - Retos Actuales de I+D En Viticultura Fotosíntesis*, 1, 364.

Zhao, L., Liu, F., Crawford, N. M., & Wang, Y. (2018). Molecular regulation of nitrate responses in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7). <https://doi.org/10.3390/ijms19072039>