



**UNL • FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**

Tesis para optar al grado académico de
Magíster en Cultivos Intensivos

Efecto del modo de aplicación de ácido salicílico a plantines de tomate sobre
la respuesta fisiológica y productiva del cultivo en condiciones de
restricción hídrica

Apellido y Nombre del autor: Ing. Agr. Ojeda, Juan Pablo

Director: Ing. Agr. (Dra.) Garbi, Mariana

Co-director: Ing. Agr. (Dra.) Micheloud, Norma

Esperanza, Santa Fe

Año: 2025

ÍNDICE GENERAL

Contenido

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1 Importancia del cultivo	3
3.2 Características y requerimientos de la especie	6
3.3 Agricultura moderna y recursos hídricos	7
3.4 Estrés vegetal	9
3.5 Hormonas vegetales	11
3.5.1 Ácido salicílico	13
3.5.1.1 Antecedentes históricos	13
3.5.1.2 Biosíntesis y modo de acción	14
3.5.2 Interacción con otras hormonas	18
3.5.3 Estrés por sequía y AS	19
3.6 Tomate y ácido salicílico	20
4. HIPÓTESIS	25
5. OBJETIVOS	25
5.1 Objetivo general	25
5.2 Objetivos específicos	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS	26
6.1 Ubicación del ensayo y material vegetal	26
6.2 Condiciones ambientales	27
6.3 Tratamientos	27
6.4 Diseño experimental	30
6.5 Variables evaluadas	30
6.5.1 Variables fenológicas y bioclimáticas	30
6.5.2 Variables de crecimiento y fisiológicas	31
6.5.3 Variables productivas	32
6.5.4 Variables de calidad organoléptica de los frutos	32
6.6 Análisis de datos	32
7. RESULTADOS	33
7.1 Fenología y precocidad a cosecha	33
7.1.1 Días a floración	33
7.1.2 Días a Fructificación	35
7.1.3 Días a inicio de cosecha	38
7.1.4 Grados Días Acumulados (GDA)	39
7.2 Crecimiento e índice de verdor	40
7.2.1 Altura de planta	40
7.2.2 Diámetro de tallo	41
7.2.3 Área Foliar	43
7.2.4 Índice de verdor	45
7.3 Productividad del cultivo	46
7.3.1 Rendimiento total	46
7.3.2 Rendimiento en frutos de primera categoría comercial	47
7.3.3 Rendimiento en frutos de segunda categoría comercial	49

7.3.4 Rendimiento en frutos de tercera categoría comercial	50
7.3.5 Peso medio de frutos	52
7.4 Calidad organoléptica	53
8. DISCUSIÓN	56
8.1 Fenología y precocidad a cosecha	56
8.2 Crecimiento e índice de verdor	57
8.2.1 Altura	57
8.2.2 Diámetro de tallo	58
8.2.3 Área Foliar	58
8.2.4 Índice de verdor	59
8.3 Productividad del cultivo	60
8.3.1 Rendimiento y peso medio del fruto	60
8.3.2 Calidad organoléptica	61
10. CONCLUSIONES	63
11. BIBLIOGRAFIA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de tomate fresco en los principales países productores (en toneladas).....	3
Figura 2. Principales regiones productoras de tomate en Argentina.....	4
Figura 3. Ruta de la biosíntesis del ácido salicílico.....	15
Figura 4. Roles del AS en la respuesta al estrés de las plantas.....	17
Figura 5. Cultivo de tomate en invernadero. Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn.....	26
Figura 6. Días de trasplante a floración del 2° racimo en tomate cv. Exigido según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.....	34
Figura 7. Días de trasplante a floración del 3° racimo en tomate cv. Exigido según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.....	35
Figura 8. Días de trasplante a fructificación del 2° racimo en tomate cv. Exigido según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.....	37
Figura 9. Días de trasplante a fructificación del 3° racimo en tomate cv. Exigido según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.....	38
Figura 10. Días de trasplante a inicio de cosecha en tomate cv. Rígido: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación. La Plata, 2023.....	39
Figura 11. Altura de planta (cm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2023.....	40
Figura 12. Altura de planta (cm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2024.....	41
Figura 13. Diámetro de tallo (mm) en tomate cv. Yigido según A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación. La Plata, 2023.....	42
Figura 14. Diámetro de tallo (mm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2024.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo del cultivo de tomate.....	7
Tabla 2. Condiciones ambientales en el interior del invernadero en que se desarrollaron los ensayos. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 2023 y 2024.....	27
Tabla 3: Días entre trasplante e inicio de floración del 1° a 6° racimo según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	33
Tabla 4: Días entre trasplante e inicio de fructificación del 1° a 6° racimo según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	36
Tabla 5: Grados día acumulados (GDA) entre trasplante de inicio de floración y fructificación, del 1° a 6° racimo en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023 y 2024.....	39
Tabla 6. Área foliar (cm ²) de las hojas inmediatas inferior y superior al 4° racimo, según y nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	44
Tabla 7. Área foliar (cm ²) de las hojas inmediatas inferior y superior al 4° racimo, según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	45
Tabla 8: Índice de verdor (unidades SPAD) según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023 y 2024.....	45
Tabla 9: Rendimiento total (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	46
Tabla 10: Rendimiento total (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	47
Tabla 11: Rendimiento en frutos de primera categoría comercial (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	48
Tabla 12: Rendimiento en frutos de primera categoría comercial (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	48
Tabla 13: Rendimiento en frutos de segunda categoría comercial (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	49
Tabla 14: Rendimiento en frutos de segunda categoría comercial (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	50
Tabla 15: Rendimiento en frutos de tercera categoría comercial (g.pl ⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	51

Tabla 16: Rendimiento en frutos de tercera categoría comercial (g.pl^{-1}) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	51
Tabla 17: Peso medio de fruto (g) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	52
Tabla 18: Peso medio de fruto (g) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	53
Tabla 19: Sólidos solubles totales y acidez titulable según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.....	54
Tabla 20: Sólidos solubles totales y acidez titulable según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.....	55

1. RESUMEN

La sequía es uno de los estreses abióticos que más afectan la productividad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), especialmente en sistemas hortícolas intensivos bajo invernadero. El ácido salicílico (AS), una fitohormona relacionada con la tolerancia al estrés, ha demostrado mejorar procesos fisiológicos y de rendimiento en diversos cultivos, aunque sus efectos dependen de la concentración, del método y del momento de aplicación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del modo de aplicación de AS en plantines de tomate sobre su desempeño posterior bajo condiciones de restricción hídrica. Se condujeron dos ciclos de cultivo (2023 y 2024) utilizando el híbrido Yigido F1, con tratamientos que combinaron distintos momentos y formas de aplicación de AS, junto con dos niveles de riego. Se evaluaron variables fenológicas, de crecimiento, productividad y calidad de frutos. Los resultados mostraron que las aplicaciones al trasplante de AS influyeron positivamente en la precocidad, peso de frutos y rendimiento comercial. Estos hallazgos sugieren que el AS, aplicado en etapas tempranas del cultivo, puede mejorar la adaptación del tomate a condiciones de restricción hídrica, ofreciendo una alternativa viable para sistemas productivos intensivos.

Palabras clave: Tomate; déficit hídrico; ácido salicílico; rendimiento; estrés abiótico.

2. ABSTRACT

Drought is one of the most detrimental abiotic stresses affecting tomato (*Solanum lycopersicum* L.) productivity, particularly in intensive greenhouse systems. Salicylic acid (SA), a phytohormone associated with stress tolerance, has shown the ability to enhance physiological processes and yield in several crops, although its response depends on concentration, timing, and application method. The aim of this study was to evaluate the effect of different SA application modes on tomato seedlings and their subsequent performance under water deficit. Two growing cycles (2023 and 2024) were conducted using the hybrid Yigido F1, testing combinations of SA application timing and method under two irrigation levels. Phenological traits, plant growth, yield components and fruit quality were assessed. The results showed that salicylic acid (SA) applications at transplanting positively influenced earliness, fruit weight, and commercial yield. These findings indicate that SA applied during early developmental stages can improve tomato adaptation to water deficit conditions, representing a practical and sustainable tool for intensive production systems.

Keywords: Tomato; water deficit; salicylic acid; yield; abiotic stress.

3. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes del mundo por su valor económico, sus cualidades culinarias y su aporte nutricional ya que es una excelente fuente de vitaminas y minerales (Martínez, 2021). Pertenece a la familia de las Solanáceas y su origen se ubica en la región andina de América del Sur, que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y el norte de Chile. Su proceso de domesticación y diversificación han dado lugar a una variedad de tipos comerciales, desde los tradicionales tomates redondos hasta variedades especializadas como el tomate cherry y el grape (Chakma et al., 2021; Favaro, 2023).

3.1 Importancia del cultivo

A nivel mundial, el tomate es la segunda hortaliza más cultivada después de la papa, con unas 262.532.640 toneladas (t) en una superficie de 6.672.247 hectáreas (ha), siendo los principales países productores China, India, Estados Unidos y Turquía (Fig. 1). En Sudamérica, el principal productor es Brasil, seguido de Chile y Argentina (Allende, 2017; El-Hady et al., 2021; FAO 2022). Los mayores rendimientos los obtiene Holanda con 47,6 kg.m⁻² en invernaderos de alta tecnología, mientras que en regiones mediterráneas los rendimientos oscilan entre 9 y 13 kg.m⁻² bajo invernadero y al aire libre (Favaro, 2023).

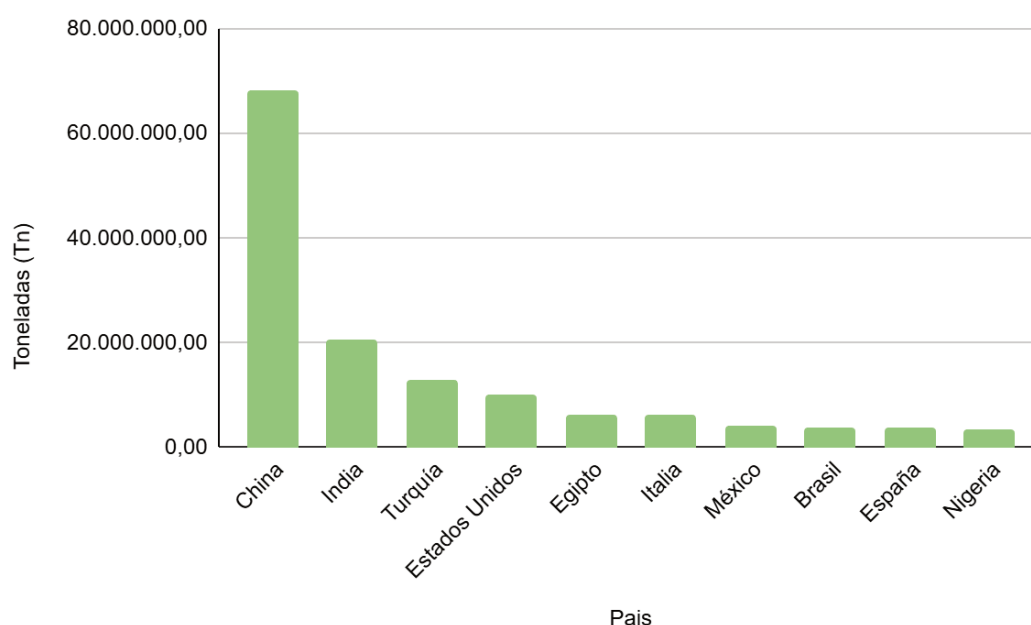


Figura 1. Producción de tomate fresco en los principales países productores (en toneladas).

Fuente: Elaboración propia a partir de FAO, 2022.

En Argentina la producción de tomate fresco es de 767.000 t en 11.800 ha con un rendimiento promedio de alrededor $67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ o $6,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. El consumo de tomate fresco es de cerca de $16 \text{ kg} \cdot \text{habitante}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ siendo la segunda hortaliza más consumida luego de la papa. Las principales regiones productoras de tomate son Buenos Aires (La Plata, Florencio Varela, Mar del Plata, etc.), NOA (Salta, Jujuy y Tucumán), NEA (Corrientes) y Cuyo (Mendoza y San Juan) (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Dirección de Producción Agrícola, 2020) (Fig. 2).

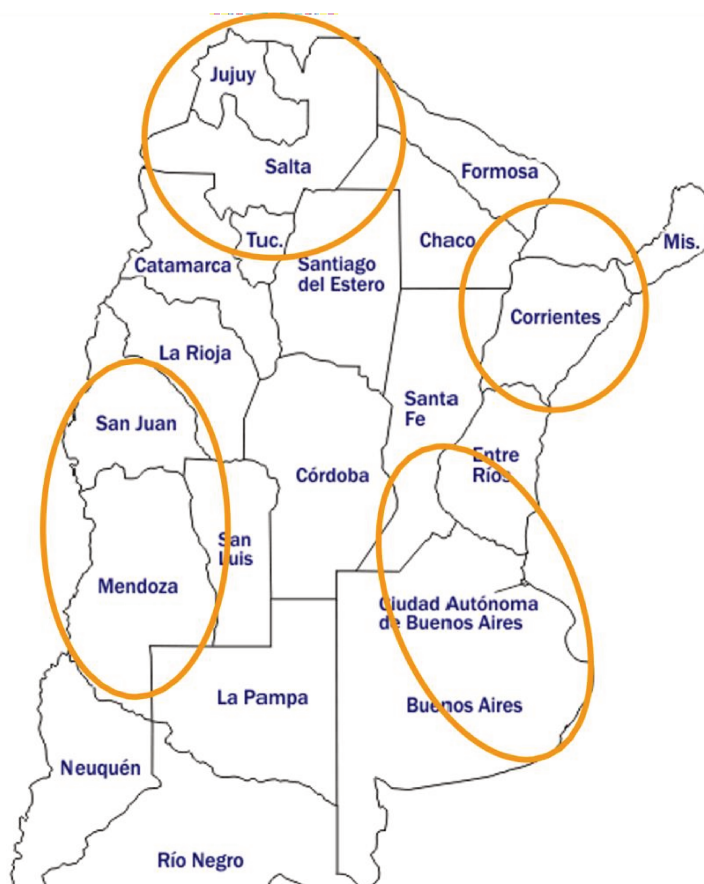


Figura 2. Principales regiones productoras de tomate en Argentina (Elaboración propia, en base a la información disponible en Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Dirección de Producción Agrícola 2020)

Dependiendo de la época de plantación y la zona geográfica, en el país se cultiva el tomate a campo abierto o bajo invernadero. Es común en las plantaciones de campo abierto usar mallas antigranizo. En Mendoza y Salta están las mayores superficies de tomate a campo, de igual manera, se cultiva a campo en muchas zonas del país. Las mayores superficies de tomate bajo invernadero se encuentran en Buenos Aires (La Plata, Florencio Varela y Mar del Plata), Corrientes y Salta (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Dirección de Producción Agrícola, 2020; Favaro, 2023).

Dentro de Buenos Aires, la principal zona productiva está ubicada en el partido de La Plata y alrededores, con una superficie de 1400 ha de tomate bajo invernadero (Del Pino, 2022). La región se destaca como una de las tres zonas del país con esta modalidad de cultivo para la producción de tomate, abarcando la misma desde noviembre a julio, con rendimientos que, según las condiciones, pueden oscilar de 100 a 200 t.ha⁻¹ (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Dirección de Producción Agrícola, 2020). En la región platense hay tres momentos de plantación de tomate que logran abastecer al mercado desde fines de octubre hasta fines de mayo. La plantación temprana que va desde el mes de junio hasta fines de agosto, la plantación intermedia que va desde septiembre hasta el mes de noviembre y la plantación tardía que va desde diciembre hasta fines de enero (Pacheco, 2023; Martínez, 2025 Comunicación personal). La mayor superficie implantada en La Plata se encuentra en la época de plantación temprana, seguida de la tardía y, por último, la intermedia.

En Argentina, se producen tres tipos comerciales de tomate conocidos como *perita* o *saladettes*, *redondo* y *cherry*. A su vez, de acuerdo con el hábito de crecimiento, las variedades comerciales se pueden dividir en dos tipos de diferente morfología: indeterminado y determinado. El tomate pera determinado es de gran importancia en Salta y Mendoza, mientras que el tomate redondo indeterminado se cultiva en todo el país, encontrando la mayor superficie en Buenos Aires y en Corrientes bajo invernadero. El tomate cherry tiene menor importancia relativa comparado con los otros tomates (Del Pino, 2022; Favaro y Pacheco, 2023a).

En términos de importancia nutricional, el tomate se destaca como una fuente esencial de compuestos bioactivos que benefician la salud humana. Es rico en antioxidantes como el licopeno, flavonoides, vitamina C y compuestos fenólicos, los cuales están asociados con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Chakma et al., 2021; Favaro, 2023). Su perfil nutricional y versatilidad culinaria han hecho del tomate un componente fundamental en las dietas de muchas culturas. Al mismo tiempo, su alta demanda global impulsa continuamente la investigación para mejorar su productividad, calidad y sostenibilidad en condiciones de cultivo adversas (Hayat et al., 2010; Martínez, 2021; Favaro, 2023).

3.2 Características y requerimientos de la especie

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta dicotiledónea y herbácea, de porte erecto en los primeros estadios. El tallo es circular, con un diámetro de 1,5 a 3 cm y toda la epidermis es pubescente. En primer lugar, el crecimiento es de tipo simpodial por lo que el ápice emite una inflorescencia, y luego una yema axilar retoma el crecimiento con otro simpodio similar que sucede al anterior. Las hojas son compuestas, imparipinnadas y de textura rugosa, con un tono verde oscuro, lo que refleja una alta actividad fotosintética y un buen estado sanitario. Asimismo, las flores son hermafroditas, se agrupan en racimos axilares y presentan capacidad de autopolinización y los frutos son una baya carnosa, bilocular o plurilocular (Martínez, 2021; Del Pino, 2022; Favaro y Pacheco, 2023a). En relación con el sistema radicular, este es fibroso, con raíces adventicias. En suelos sueltos, las raíces pueden alcanzar hasta 1,5 metros de profundidad, permitiendo la extracción de agua y nutrientes de capas profundas del suelo (Favaro y Pacheco, 2023a).

En cuanto a las condiciones climáticas, el tomate es una especie de clima cálido, capaz de adaptarse a diversas condiciones ambientales. Su rango óptimo de temperatura oscila entre 20 y 25 °C durante el día y 15 a 18 °C durante la noche. No obstante, temperaturas superiores a 30 °C o inferiores a 10 °C afectan negativamente la floración, la polinización y el cuajado de los frutos (Favaro y Pacheco, 2023a). Esta especie es sensible a las heladas, presentando un cero vegetativo entre 6 y 8 °C, y requiere al menos 12 °C para desarrollarse correctamente, aunque puede tolerar temperaturas más bajas por cortos períodos. A su vez, las oscilaciones térmicas entre el día y la noche, de aproximadamente 6 a 7 °C, favorecen su desarrollo (Tabla 1). Además, requiere niveles moderados de humedad relativa (60-70 %) para un desarrollo equilibrado y para minimizar la incidencia de enfermedades foliares (Del Pino, 2022).

Respecto al desarrollo reproductivo, la floración puede comenzar entre los 30 y 45 días desde la germinación en condiciones óptimas. Temperaturas extremas o poca luz retrasan la antesis, mientras que temperaturas bajas favorecen la diferenciación floral, la ramificación de racimos y un mayor número de flores. De este modo, el cuajado del fruto depende de una buena polinización, fecundación y condiciones ambientales favorables. Factores como temperaturas extremas, humedad inadecuada, baja luminosidad, mala nutrición y estrés hídrico pueden afectar este proceso fisiológico. En

particular, temperaturas fuera del rango 10–35 °C y humedad relativa muy baja o alta dificultan la germinación y viabilidad del polen (Del Pino, 2022).

Tabla 1. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo del cultivo de tomate (Allende, 2017).

Condición	Temperatura
Se huela la planta	-2 °C
Detiene su desarrollo	10 – 12 °C
Desarrollo normal de la planta	18 – 25 °C
Mayor desarrollo de la planta	21 – 24 °C
Germinación óptima	25 – 30 °C
Temperaturas óptimas de desarrollo	
Diurna	23 – 26 °C
Nocturna	13 – 16 °C
Temperaturas óptimas de floración	
Diurna	23 – 26 °C
Nocturna	15 – 18 °C
Temperaturas óptimas de maduración	15 – 22 °C

En relación al suelo, el tomate prospera mejor en suelos bien drenados y con un pH ligeramente ácido a neutro (6-6,9). Sin embargo, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta medianamente alcalinos pudiendo desarrollarse el cultivo con 8 de pH. Con respecto a la salinidad puede soportar un nivel mayor que otros cultivos hortícolas (Allende, 2017; Del Pino 2022).

3.3 Agricultura moderna y recursos hídricos

Como señalan Argerich y Troilo (2011), el cultivo de tomate se realiza con un manejo altamente intensivo y, si bien, los productores han incorporado nuevas tecnologías vinculadas a la productividad, es necesario continuar trabajando en ese sentido para garantizar productos de calidad comercial, inocuos y producidos de manera sustentable. Por otra parte, la horticultura platense se desarrolla en zonas que constituyen espacios que se conocen como periurbanos, donde se generan intensos conflictos de intereses entre las actividades productivas primarias y la urbanización, siendo necesario abordar la dinámica socioeconómica y ambiental que estructura a los mismos (Barsky, 2012). En

este sentido, entre los objetivos de desarrollo sostenible, promovidos por los Estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la agenda fijada hacia 2030, se encuentra el promover una agricultura más sostenible y lograr que los asentamientos humanos sean seguros, inclusivos y resilientes (ONU, 2015). Un aspecto de importancia es el uso del agua; siendo el riego de cultivos el usuario más significativo en el uso consuntivo de agua del planeta (Booker et al., 2012).

Los seres humanos están explotando continuamente los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, esto tiene un impacto negativo en las condiciones climáticas y la agricultura. Aunque hay una mejora en la producción agrícola, otros recursos naturales están disminuyendo y, cuando esto se combina con el aumento de la población, la situación general parece preocupante. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) predice que para el año 2050 necesitaremos aumentar la producción agrícola de alimentos en un 70 % (Koche et al., 2021; FAO, 2022). Esto es debido al crecimiento acelerado de la población mundial, que podría alcanzar los 9.150 millones en los próximos 30 años con India como el país más poblado (1.700 millones). Además, se genera una fuerte presión sobre el agricultor porque la superficie cultivable disminuye debido a la urbanización e industrialización (Sharma et al., 2021).

En este contexto, según Sharma et al. (2021) el estrés abiótico por sequía afecta al 64 % de las tierras mientras que Aires et al. (2022) indican que predicciones prevén que la escasez de agua afectará al 50 % de las tierras agrícolas para el año 2050; siendo el bajo suministro de agua el estrés abiótico que más comúnmente provoca limitaciones en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Boyer 1982; Singhal et al., 2016; Gholami y Zahedi, 2019).

En la región del Gran La Plata, se obtiene el agua del acuífero Pehuénche y del Pampeano. El primero es el más profundo con mejor calidad, mientras que el segundo es el más superficial con una calidad de agua más variable. Los agricultores suelen utilizar el segundo por el menor costo de extracción de agua, eso genera mayores problemas de salinidad y sodicidad de los suelos acentuando los problemas de déficit hídricos en las plantas (Alconada, 2022).

3.4 Estrés vegetal

El estrés en las plantas puede definirse como un cambio en las condiciones de crecimiento que altera la homeostasis y obliga a reajustar las vías metabólicas, en un proceso conocido como aclimatación. Las plantas perciben fisiológicamente los cambios ambientales externos, lo que desencadena una serie de rutas de señalización. En estas rutas intervienen tres tipos de compuestos: (1) los implicados en la aclimatación, como antioxidantes u osmoprotectores;

(2) subproductos del estrés que surgen por la alteración de la homeostasis; y (3) moléculas de transducción de señales que median las respuestas de aclimatación (Sharma et al., 2021).

Otro aspecto a tener en cuenta sobre el estrés vegetal, son las especies reactivas de oxígeno (ROS). Estos compuestos como el peróxido de hidrógeno, el oxígeno singlete y los radicales libres se generan naturalmente en las plantas, y aumentan notablemente bajo estrés abiótico como sequía o salinidad. Estas ROS dañan proteínas, ADN y lípidos, afectando la función celular y pudiendo causar muerte celular. Se producen en cloroplastos, mitocondrias y otras estructuras celulares. Las plantas contrarrestan su efecto mediante sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos que permiten su detoxificación y favorecen la supervivencia celular (Sharma et al., 2021). Este estrés oxidativo causado por la falta de agua daña las células y sus componentes, y ralentiza los procesos fisiológicos y bioquímicos de la vida de una planta mediante una mayor peroxidación de los lípidos de la membrana y la degradación de proteínas y ácidos nucleicos (Chakma et al., 2021).

En el caso del estrés por sequía se generan las siguientes consecuencias: estrés oxidativo, deficiencia de agua, transpiración dificultada, marchitamiento y desecación, desequilibrio nutricional, disminución de la fotosíntesis, daño de los cloroplastos, disminución del rendimiento e incremento de estreses bióticos, ya que los mecanismos de defensa se debilitan. La restricción hídrica también afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas al modificar negativamente la división, la elongación y la diferenciación celular (Hayat et al., 2008; Farooq et al., 2009; Song et al., 2023). Particularmente, en tomate, afecta la productividad y calidad de fruta (Chakma et al., 2021).

Las plantas desarrollan mecanismos de memoria frente a distintos estreses que les permite

responder de forma más rápida y con eficiencia ante nuevas exposiciones. Esta memoria puede ser en la misma generación, intergeneracional o transgeneracional. Estos mecanismos incluyen mejoras en la fotosíntesis, el balance energético, el ajuste osmótico, la protección celular mediante antioxidantes, entre otros. La interacción entre la planta y los microorganismos del suelo también contribuye a esta memoria, ya que las comunidades microbianas pueden adaptarse y transmitir un "legado del suelo" que mejora la resiliencia vegetal. Además, se plantea que este proceso es dinámico y que las plantas también pueden "olvidar" el estrés previo para optimizar su crecimiento cuando las condiciones ambientales mejoran. Ejemplos experimentales muestran que, bajo condiciones repetidas de sequía, calor, frío o salinidad, las plantas aumentan su tolerancia mediante cambios en la expresión génica, la acumulación de compuestos protectores como azúcares y proteínas de choque térmico, y la modificación de rutas hormonales (Jacques et al., 2021; Sharma et al., 2022).

La primera respuesta de las plantas frente al desbalance hídrico es la disminución de la transpiración mediante el cierre de los estomas. Las aperturas estomáticas regulan el CO_2 y el agua en las plantas. El cierre estomático limita la pérdida de agua, pero también reduce la absorción de CO_2 y el transporte de carbono no estructural (NSC). El ATP/NADPH y la reserva local de carbohidratos se utilizan para mantener los procesos inducidos por la sequía y, por lo tanto, está menos disponible para fortalecer el crecimiento (Sharma et al., 2019).

El estrés por sequía afecta la fotosíntesis en las plantas no solo por el cierre estomático, que limita la entrada de CO_2 , sino también por mecanismos no estomáticos que incluyen la inhibición de enzimas fijadoras de carbono como la RUBISCO, la disrupción de membranas, la reducción en la síntesis de ATP y la alteración del fotosistema II (PS II). Estos efectos generan una caída en el rendimiento cuántico del PS II y una sobrerreducción de la cadena de transporte electrónico debido a la menor regeneración de NADP^+ ; conduciendo a una fuga de electrones y a un daño al centro de reacción del PS II. Además, la desecación celular degrada membranas tilacoidales y pigmentos fotosintéticos, reduciendo la fluorescencia de clorofila y la tasa fotosintética (Sharma et al., 2019).

Las plantas han desarrollado varias estrategias para superar estos estreses. Por ejemplo, los genes que conducen a adaptaciones exitosas y, eventualmente, a la tolerancia han sido clasificados en grupos: genes que codifican enzimas involucradas en la biosíntesis

de osmolitos (prolina, manitol, glicina, betaína, trehalosa); genes que codifican antioxidantes (superóxido dismutasa, ascorbato peroxidasa y catalasa) como protectores; genes que codifican proteínas inducidas por estrés involucradas en el mantenimiento de la integridad celular; y genes que codifican quinasas de proteínas y factores trans-actantes, proteínas con cremallera de leucina básica y proteínas con dedos de zinc. Según su función, los genes asociados con la tolerancia al estrés abiótico se dividen en tres grupos: factores de señalización, proteínas funcionales y factores de transcripción. En comparación con los factores de señalización, que incluyen proteínas involucradas en la regulación de la transducción de señales, las proteínas funcionales incluyen genes que controlan la síntesis de ácido abscísico (ABA), proteínas eliminadoras de especies reactivas de oxígeno, protectores antioxidantes, proteínas LEA, chaperonas y proteínas de choque térmico (HSPs) involucradas en conferir protección. Los factores de transcripción (proteínas básicas con cremallera de leucina y proteínas con dedos de zinc) están asociados con la integridad celular y la homeostasis iónica (Singhal et al., 2016).

3.5 Hormonas vegetales

Dentro de las herramientas que existen para mitigar los efectos adversos del estrés hídrico está la aplicación de reguladores del crecimiento (fitohormonas) (Senaratna et al., 2000; Hayat et al., 2010). El funcionamiento normal de las plantas requiere de mecanismos precisos de regulación que permitan una coordinación de sus células, tejidos y órganos. Además, la planta debe poder recibir y responder a las fluctuaciones del ambiente. Entre los posibles mecanismos de regulación, el más conocido es el sistema de comunicación química que se realiza fundamentalmente a través de hormonas o fitohormonas (Azcon-Bieto y Talón, 2008).

Las hormonas vegetales se definen como un grupo de sustancias orgánicas, sintetizadas por las plantas, que tienen la capacidad de afectar a los procesos fisiológicos en concentraciones mucho más bajas que los nutrientes o vitaminas (Menor a 1 mM, frecuentemente menor a 1 uM) (Azcon-Bieto y Talón, 2008). Las hormonas regulan la mayoría de los procesos fisiológicos y bioquímicos, como la división celular, el crecimiento, la diferenciación de los órganos aéreos y las raíces. También controlan la embriogénesis, la germinación de las semillas, la floración, la formación de los frutos, la caída de las hojas y la senescencia. Además, se activan en respuesta a la invasión de

patógenos (Porta et al., 2019).

A diferencia de las hormonas animales, las fitohormonas se sintetizan en distintos tejidos vegetales y actúan regulando múltiples procesos mediante interacciones complejas, sin que ninguna tenga control exclusivo. Su acción depende tanto de la concentración como de la sensibilidad de los tejidos, que varía según el genotipo, la etapa de desarrollo y factores ambientales. El mecanismo hormonal implica la percepción de la señal, su transducción y la generación de respuestas fisiológicas, permitiendo a la planta adaptarse y desarrollarse frente a diferentes estímulos (Azcon-Bieto y Talón, 2008). Las principales hormonas que actúan en las plantas son las auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, ácido jasmónico, ácido salicílico, entre otras.

Las auxinas, regulan procesos clave como el crecimiento radicular, la diferenciación vascular, división y expansión celular en frutos jóvenes y la dominancia apical, y, además, su disminución bajo estrés abiótico afecta negativamente el desarrollo vegetal. Sin embargo, su interacción con hormonas como el ABA y el etileno resulta crucial para la adaptación a diferentes condiciones (Upreti y Sharma, 2016).

Las citoquininas, sintetizadas principalmente en las raíces, son hormonas que promueven el crecimiento, la diferenciación de semillas, la fotosíntesis y el crecimiento de los frutos, pero su disminución bajo estrés hídrico o salino favorece la senescencia, interactuando de forma antagonista con el ABA al mantener los estomas abiertos (Upreti y Sharma, 2016). Las giberelinas participan en la elongación celular y el desarrollo, además del crecimiento final del fruto (Ramírez et al., 2024).

El ácido abscísico (ABA), el etileno, el ácido jasmónico y el ácido salicílico son las principales hormonas relacionadas con la respuesta al estrés (Martínez, 2021).

El ácido abscísico (ABA) es una hormona que se genera a partir de situaciones de estrés, como la sequía, salinidad, temperaturas extremas, rayos UV-B, metales pesados, deficiencias nutricionales y deshidrataciones parciales. Las condiciones de estrés activan genes que codifican las enzimas que son parte de la biosíntesis de ABA y que luego es catabolizado cuando concluye el estrés. La hormona también cumple un papel de señal, se produce en las raíces ante un estrés hídrico y luego se transporta por la planta.

Participa en la regulación del balance hídrico (cerrando estomas), en la mejora de la conductividad hidráulica de las raíces y en la tolerancia al estrés osmótico (Suárez et al., 2012, Upreti & Sharma, 2016; Vishwakarma et al., 2017). También puede aplicarse de forma externa para inducir tolerancia, aunque su efectividad varía según la especie y condiciones. Bajo estrés, las raíces acumulan ABA, lo que favorece la absorción de agua y nutrientes, mejora la relación raíz- brote y contribuye a mantener el equilibrio hídrico de la planta (Upreti & Sharma, 2016).

El etileno (C_2H_4) es un gas que se produce en la mayoría de los tejidos y células vegetales, y está involucrado en varios procesos clave, como la germinación de semillas, la inhibición del crecimiento del tallo y la raíz, la expansión de las hojas, la floración, el desarrollo de pelos radiculares, la formación de nódulos en las raíces, la abscisión, el envejecimiento y la maduración de los frutos. La producción de etileno puede ser estimulada por situaciones de estrés ambiental, como heridas, falta de oxígeno, alta salinidad, sequía, frío o el ataque de patógenos (Suárez et al., 2012). Esta producción puede ayudar a reducir la pérdida de agua promoviendo la senescencia de hojas y frutos o deteniendo el crecimiento, aunque su efecto varía según la especie, el órgano afectado y la intensidad del estrés. El etileno también regula el equilibrio de iones (Na^+/K^+), mejora la tolerancia a la salinidad y activa mecanismos de tolerancia frente a frío, salinidad, sequía e hipoxia (Upreti & Sharma, 2016).

El ácido jasmónico (JA) y sus derivados como el metil-jasmonato, actúan como molécula señal en la respuesta de las plantas a situaciones de estrés abiótico y biótico, y participan en diversos procesos del desarrollo de la planta como crecimiento de raíz, maduración de frutos, desarrollo de polen, senescencia, entre otros. Entre las situaciones de estrés que regulan están: heridas (mecánicas o bióticas), exposición a ozono, sequía, salinidad, temperaturas extremas y el ataque por patógenos y plagas (Suárez et al., 2012; Saxena et al., 2019).

3.5.1 Ácido salicílico

3.5.1.1 Antecedentes históricos

El ácido salicílico (AS), presente en las hojas y corteza del sauce (*Salix alba*), era usado desde la antigüedad por numerosas civilizaciones para aliviar dolores y fiebres. Es a

partir del siglo XIX que se identificó el principio activo en el sauce. Posteriormente se aislaron y purificaron salicilatos como el salicilato de metilo (MeSA), el saligenol (alcohol del AS) y sus glucósidos. Luego, en la primera mitad del siglo XIX, el AS fue aislado y purificado del sauce, sinterizado por primera vez en 1860 y la primera producción comercial de AS sintético fue en Alemania en 1874. Años más tarde la empresa Bayer introdujo la aspirina (ácido acetilsalicílico) (Khan et al., 2015). Aunque aislada en primer lugar del sauce es un compuesto con amplia distribución en el reino vegetal (Hayat et al., 2010).

3.5.1.2 Biosíntesis y modo de acción

El AS se sintetiza a partir de shikimato a través de dos vías distintas en las plantas: la vía del isocorismato (IC) y la vía de la fenilalanina amonioliase (PAL). En *Arabidopsis* sp., la mayoría (>90 %) del AS se produce a través de la vía IC. Sin embargo, la biosíntesis de AS también puede llevarse a cabo por la vía de la fenilalanina (Fig. 3) (Koche et al., 2021).

El AS es percibido por el no-expresor del gen relacionado con la patogénesis 1 (NPR1) y sus homólogos NPR3 y NPR4, que modula procesos como la división y expansión celular. Posteriormente, estimula los genes de respuesta al AS y activa la respuesta inmune de las plantas. Además del receptor canónico NPRs, existen muchas otras proteínas que se unen al AS, como SABP1 (Catalasa), SABP2 (Esterasa de MeSA) y SABP3 (β -anhidrasa carbónica), que pueden actuar como receptores potenciales de AS en las plantas y estar involucradas en la señalización del AS (Li et al., 2022).

Esta hormona interviene en numerosos procesos de importancia productiva. El AS es relevante en la regulación del crecimiento y el desarrollo, la fotosíntesis, la termogénesis, la reparación del ADN, la absorción y el transporte de nutrientes, la regulación estomática y la transpiración, en el rendimiento de frutos, la germinación y en la respuesta y tolerancia al estrés biótico y abiótico (Senaratna et al., 2000; Hayat et al., 2010; Dempsey, 2011; Khan et al., 2015; Maghsoudi et al., 2019; Souri y Tohidloo, 2019; Koo et al., 2020; Chakma et al., 2021; Kaur et al., 2022; Song et al., 2023).

Varios trabajos muestran el papel del AS en la mitigación del estrés por sequía en

distintos cultivos (Senaratna et al., 2000; Singh y Usha, 2003; Latif et al., 2016; Najafabadi y Ehsanzadeh, 2017; Maghsoudi et al., 2019). Además, se documentaron mejoras en la eficiencia del uso del agua en respuesta a la aplicación exógena de AS (Hayat et al., 2010).

Frente al estrés biótico, actúa como señal en respuesta a infecciones de patógenos e induce la Resistencia Sistémica Adquirida (RSA) (Hayat et al., 2010; Chen et al., 2023). También se ha observado que mejora la tolerancia de la planta frente a la salinidad, metales pesados, sequía y temperaturas extremas, entre otros estreses abióticos (Senaratna et al., 2000; Hayat et al., 2008; Song et al., 2023).

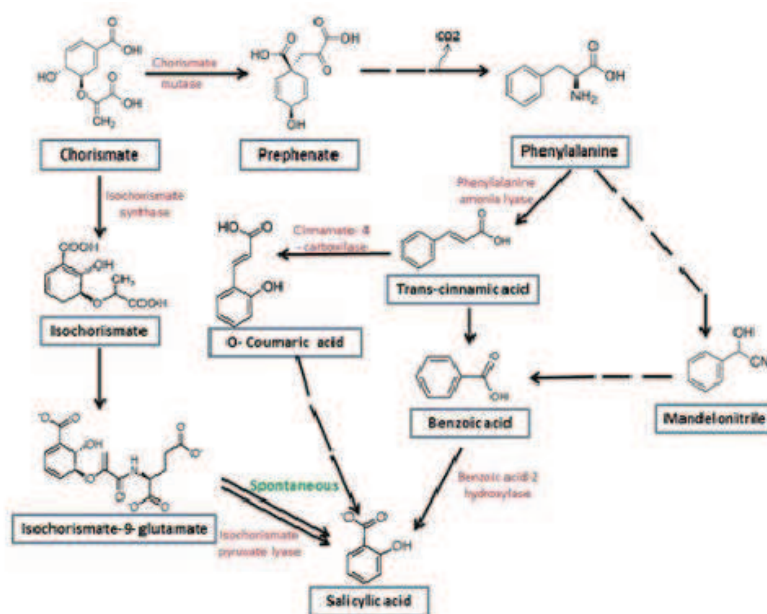


Figura 3. Ruta de la biosíntesis del ácido salicílico (Li et al., 2022).

En situaciones normales de crecimiento y desarrollo de las plantas, el AS puede promover la diferenciación de yemas florales, mejorando directamente la floración. Asimismo, puede mejorar el número y la calidad de las flores. También actúa para aumentar el contenido de clorofila en las hojas de las plantas y ejerce efectos moduladores sobre las plántulas al regular la dormancia y el crecimiento de las semillas, haciéndolas más vigorosas o menos susceptibles al estrés (Song et al., 2023).

Esta fitohormona contribuye a mejorar la tolerancia a diversos factores mediante el aumento de enzimas antioxidantes, la regulación de genes relacionados con el estrés y la mejora de la fotosíntesis. Además, estimula la acumulación de osmolitos como prolina, glicina-betaína (GB) y los ascorbatos que contribuyen a mantener el equilibrio osmótico, estabilizar proteínas y membranas, reducir el daño oxidativo y regular la conductancia

estomática (Sharma, 2013; Khan et al., 2015; Chen et al., 2023). La prolina estabiliza las proteínas y membranas celulares, favoreciendo la adaptación de las plantas en condiciones adversas, mientras que el GB protege la estructura de los pigmentos fotosintéticos (Chen et al., 2023). También puede inducir la síntesis de metabolitos secundarios involucrados en la defensa celular, como compuestos fenólicos, antocianinas, alcaloides y glucosinolatos, lo que ha sido reportado en especies como *Brassica napus*, *Triticum aestivum* o *Vitis vinifera*, donde se asocia con mayor termo tolerancia y fotoprotección (Khan et al., 2015; Kaur et al., 2022).

En *Arabidopsis thaliana*, altos niveles de AS se asocian con senescencia intermedia, mientras que mutantes con señalización alterada muestran un retraso en el envejecimiento. Esto indica que el AS actúa no sólo como señal de defensa, sino también como regulador del envejecimiento celular en interacción con otras hormonas (Sharma, 2013).

El ácido salicílico participa también en la regulación de la autofagia, un proceso celular que degrada y recicla componentes celulares dañados o innecesarios. La relación entre ambos es bidireccional y es particularmente importante en procesos como la senescencia y la muerte celular programada (Porta y Jiménez-Nopala, 2019).

En cuanto a la nutrición mineral, el AS mejora la absorción y utilización de nutrientes esenciales como N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn, al tiempo que reduce la acumulación de sodio bajo condiciones salinas, lo que mejora la fotosíntesis y el rendimiento en cultivos como *Brassica juncea* o *Zea mays*. Además, el AS se vincula con la señalización por calcio, regulando mecanismos como la acumulación de prolina, el cierre estomático y la activación de proteínas dependientes de calmodulina y quinasas CDPKs, fundamentales en la respuesta a estrés térmico y salino (Khan et al., 2015).

También se evaluó su efecto para aliviar los efectos negativos del estrés por calor sobre la fotosíntesis utilizando AS a 0,5 mM en plantas de trigo (*Triticum aestivum*) expuestas a 40 °C durante 6 h (Koche et al., 2021).

Otro aspecto importante es su papel en la señalización de especies reactivas del oxígeno (ROS) como el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y el malondialdehído (MDA). El AS ayuda a controlar el equilibrio redox celular al modular tanto la producción de ROS

como la actividad de enzimas antioxidantes como SOD, CAT, APX y GPX (Khan et al., 2015; Chen et al., 2023).

Además, el AS regula la síntesis de ácido abscísico (ABA), una hormona clave en la respuesta al estrés. La aplicación exógena de AS ha demostrado mejorar la fotosíntesis, la regulación estomática y la tolerancia al estrés, optimizando el crecimiento y el rendimiento en cultivos hortícolas como pimiento, espinaca, menta y papa (Chen et al., 2023; Song et al., 2023).

Sin embargo, concentraciones elevadas de AS pueden ser perjudiciales, causando estrés oxidativo y reduciendo la tolerancia (Hara et al., 2011; Koo et al., 2020; Chakma et al., 2021; Chen et al., 2023). En ese sentido, Yuan y Lin (2008) sugirieron que la deficiencia o una concentración muy alta de AS aumenta la susceptibilidad de las plantas al estrés abiótico, pero una concentración moderada u óptima (0,1 mM a 0,5 mM) puede ser útil para aumentar esta tolerancia (Fig. 4). Altos niveles endógenos de AS suelen causar fenotipos enanos, mientras que deficiencias de AS pueden aumentar la biomasa. En aplicaciones exógenas, concentraciones bajas generalmente promueven el crecimiento, aumentando el tamaño de hojas, raíces y frutos en varias especies, mientras que concentraciones altas tienden a inhibirlo, afectando negativamente procesos como la formación de tricomas, el desarrollo del tubo polínico y el crecimiento de hojas y raíces (Li et al., 2022).

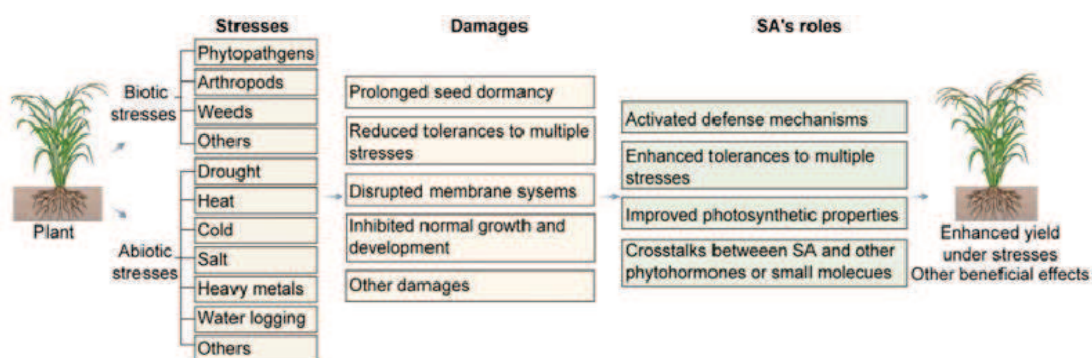


Figura 4. Roles del AS en la respuesta al estrés de las plantas (Song et al., 2023).

El AS ha demostrado ser eficaz para mitigar los efectos tóxicos de distintos metales pesados en plantas. Frente al cadmio (Cd), el AS reduce su absorción y transporte, mejora la actividad de enzimas antioxidantes y promueve el crecimiento y la

fotosíntesis. En el caso del plomo (Pb), disminuye la acumulación en raíces y hojas, activa defensas antioxidantes, como la catalasa y la peroxidasa, y reduce el daño oxidativo. Con mercurio (Hg), el AS protege las raíces, limita la peroxidación lipídica y aumenta compuestos protectores como el glutatión y la prolina. Ante el aluminio (Al), el AS reduce su toxicidad al preservar la viabilidad celular, disminuir la absorción de Al^{3+} y revertir daños fisiológicos como la pérdida de agua y el deterioro del ADN. En presencia de níquel (Ni), el AS mejora el crecimiento, la fotosíntesis, la acumulación de alcaloides y fortalece el sistema antioxidante. Por último, bajo estrés por manganeso (Mn), el AS mejora la relación hídrica, la tasa fotosintética y la acumulación de prolina, mientras reduce los niveles de especies reactivas de oxígeno y los daños oxidativos (Wani et al., 2017).

Numerosos estudios han demostrado que la aplicación exógena de ácido salicílico (AS) puede mitigar los efectos negativos de la salinidad (absorción de nutrientes, potencial hídrico, conductancia estomática y generación de ROS) en distintos cultivos. En el caso del tomate, la aplicación de AS (0,5 mM) ha demostrado mejorar significativamente el crecimiento y la productividad bajo estrés salino, al incrementar pigmentos fotosintéticos, carbohidratos solubles, proteínas, prolina, fenoles, contenido relativo de agua y reducir la fuga de electrolitos. Además, tanto el tratamiento preventivo (priming) con 10 μ M de AS mejoró el crecimiento de plantas de tomate bajo condiciones salinas y aumentó la acumulación de Na^+ y K^+ en las hojas. Ambos métodos redujeron el potencial osmótico, sugiriendo que el AS influye positivamente en la regulación iónica, el balance hídrico y la tolerancia general de las plantas de tomate al estrés salino (Gharbi et al., 2018).

3.5.2 Interacción con otras hormonas

El AS y otras hormonas vegetales pueden competir para activar o inhibir componentes compartidos o vías de señalización, regulando así la tolerancia de la planta al estrés. Esta competencia puede dar lugar a efectos dominantes o complementarios de las señales hormonales, afectando la respuesta de la planta frente a la adversidad (Song et al., 2023). El AS interactúa con otras hormonas, como auxinas, giberelinas y etileno, para regular el crecimiento de las plantas mediante una compleja interacción hormonal. En raíces, el AS regula la acumulación y transporte de auxinas, promoviendo o inhibiendo

el desarrollo según su concentración. Además, puede antagonizar el efecto de las giberelinas, como la promoción de la división y expansión celular, y en algunos casos, inhibir su acción en procesos como la germinación de semillas. En relación con el etileno, el AS puede reducir su biogénesis y señalización. También puede inhibir la metilación del ácido jasmónico, reduciendo de esa manera la respuesta de la planta a condiciones adversas (Khan et al., 2015; Li et al., 2022; Song et al., 2023).

3.5.3 Estrés por sequía y AS

La sequía es uno de los estreses abióticos más severos que afectan a la agricultura, ya que reduce la fotosíntesis, la conductancia estomática y el crecimiento de las plantas. El AS aplicado de forma exógena, ha demostrado mejorar la tolerancia a la sequía en diversas especies vegetales a través de varios mecanismos fisiológicos y moleculares (Song et al., 2023).

En *Arabidopsis thaliana*, los mutantes acumuladores de AS (cpr5 y acd6) mostraron un mejor cierre estomático y mayor tolerancia a la sequía, atribuida a la activación de genes PR (PR1, PR2 y PR5). En trigo, la aplicación de AS (0,5 mM) disminuyó la peroxidación lipídica, redujo el marchitamiento y promovió el crecimiento de las plantas bajo condiciones de sequía. (Khan et al., 2015). El AS, a una concentración de 0,5 mM, mitigó eficazmente los efectos negativos del estrés por sequía en trigo de invierno. También se encontró que mejoró el rendimiento fotosintético, mantuvo la permeabilidad de la membrana, indujo proteínas relacionadas con el estrés y aumentó la actividad de las enzimas antioxidantes (Song et al., 2023). La aplicación foliar de silicio (Si), AS, y especialmente la combinación Si+AS, mejoró notablemente el rendimiento de grano y los componentes del rendimiento en dos cultivares de trigo bajo condiciones de déficit hídrico (Koche et al., 2021). Además, bajo condiciones de sequía, el AS puede mejorar indicadores fisiológicos importantes en el trigo, incluyendo la tasa de germinación de las semillas, la longitud de la plúmula, la longitud de la raíz y la longitud del brote. Adicionalmente, el AS puede incrementar el contenido de clorofila y el índice de estabilidad de membrana (MSI), mejorando así la eficiencia fotosintética general y aumentando el rendimiento y los rasgos relacionados con el rendimiento en plantas de trigo sometidas a estrés por sequía (Song et al., 2023). Por otro lado, estudios en arroz (*Oryza sativa*) revelaron que, aunque no siempre se observa una correlación entre la

síntesis directa de AS y la tolerancia a la sequía, sí se ha encontrado una relación positiva con el ácido o-hidroxicinámico, un compuesto vinculado a la biosíntesis del AS (Khan et al., 2015). En pimientos, el AS no solo mejoró la tolerancia a la sequía mediante la activación de prolina y el sistema de glioxalasa, sino que también fortaleció la defensa antioxidante y la regulación de los estomas (Chen et al., 2023).

En resumen, el AS induce la tolerancia a la restricción hídrica a través de la acumulación de osmolitos, la regulación de la absorción de nutrientes minerales, la mayor eliminación de especies reactivas de oxígeno, mayor producción de metabolitos secundarios (terpenos, fenoles y compuestos con nitrógeno y con azufre) y regulación de otras vías hormonales (Koo et al., 2020).

3.6 Tomate y ácido salicílico

En el caso particular del tomate, la aplicación foliar de ácido salicílico (0,5 a 2,5 mM), al plantín con 2 a 3 hojas verdaderas, promovió el crecimiento vegetativo, el área foliar y el número de racimos respecto a testigos sin tratar. El tratamiento 0,5 mM mostró los mejores resultados en los parámetros de crecimiento y 1 mM en contenido de pigmentos y antioxidantes. La concentración 0,5 mM aumentó un 24 % el rendimiento total, mientras que el tratamiento con 2,5 mM tuvo el peor resultado por debajo del control (El-Hady et al., 2021).

Resultados similares sobre el crecimiento vegetativo e incrementos en el rendimiento fueron observados por Faid et al. (2020), al asperjar plantas de tomate con soluciones de 1 a 3 mM de ácido salicílico, 10 y 35 días después del trasplante. En relación con la respuesta fisiológica de la planta, el tratamiento de semillas de tomate con 10 μ M de AS por siete días y la exposición posterior de los plantines a una solución nutritiva conteniendo esa misma concentración de la fitohormona, mejoró la fotosíntesis neta, con efecto positivo sobre la transpiración instantánea y la conductancia estomática en plantas no estresadas; aunque no queda claro el mecanismo de acción según forma de tratamiento (Gharbi et al., 2018). Como elicitor de defensas frente a estreses bióticos, el uso de AS en concentración de 1×10^{-4} M, aplicado al sustrato 24 horas antes del trasplante, redujo el daño producido en raíces por *Nacobbus aberrans*, observándose menor índice de agallamiento, de reproducción del nematodo y temperatura foliar, incrementando el índice de verdor y la producción de frutos de mayor peso (Martínez et

al., 2021a; 2021b).

El tratamiento de semillas o aplicación al suelo de 0,1 a 0,5 mM de AS resultó en un incremento en la supervivencia de las plantas en condiciones de estrés por sequía, aunque altas concentraciones no mostraron un buen resultado (Senaratna et al., 2000). Chakma et al. (2021) observaron que aplicaciones foliares de 150 mg.L⁻¹ de AS a los 42 días después del trasplante, en condiciones de humedad del suelo óptimas o con una restricción del 75 % tuvieron un efecto positivo en parámetros fisiológicos y productivos (41 % de incremento); en cambio el mismo tratamiento en cultivos con una restricción del 50 % de la humedad de suelo no arrojaron resultados positivos en cuanto a rendimiento pero sí en parámetros de calidad del fruto. En el mismo trabajo, pero con aplicación de AS a las semillas se encontró que la dosis de 100 mg.L⁻¹ fue la que obtuvo el mejor resultado (aumento del 33 % de rendimiento). Zhang et al. (2016) hallaron que 0,3 mM.L⁻¹ de AS mejoró el comportamiento de plantines de tomate frente a condiciones de estrés hídrico. Por otra parte, el priming de semillas con 25 o 50 µM de AS en condiciones de restricción hídrica del 20, 30 y 40 %, no indujeron tolerancia a la misma en semillas y plántulas en comparación con el testigo (sin restricción hídrica y sin aplicación de AS) (Galviz-Fajardo et al., 2020). En cambio, la aplicación exógena foliar de AS con una concentración 1 x 10⁻⁵ M, a los 45 días después de la siembra, resultó efectiva para aliviar el efecto del estrés oxidativo producido en las plantas por la exposición a estrés hídrico (se suspendió el riego durante 10 días, a los 20 días y 30 días después de la siembra), observándose aumentos de la actividad de enzimas antioxidantes como catalasa, peroxidasa y superóxido dismutasa (Hayat et al., 2008). También, aplicaciones foliares semanales de 1,3 mM de AS desde los 15 hasta los 45 días después del trasplante, mejoraron parámetros productivos y fisiológicos de tomate sometido a un estrés hídrico del 70 % de Etc. aplicado en el mismo periodo de tiempo (Aires et al., 2022). A su vez, Sariñana-Aldaco et al. (2020) observaron en tomate un incremento en el número y peso de frutos, luego de realizar siete aspersiones separadas 15 días entre sí (7 aplicaciones), con una solución 0,05 mM de AS. Soury y Tohidloo (2019), evaluando diferentes métodos de aplicación de AS en plantines de tomate en condiciones de salinidad, encontraron que el pretratamiento foliar (aplicación al follaje un día antes del trasplante y 4 días después) fue el que trajo mayores beneficios, seguido del pretratamiento en raíces (inmersión de raíces al momento del trasplante) y el tratamiento foliar (aplicación al follaje 7 y 12 días después del trasplante).

En un estudio realizado por Larqué-Saavedra et al. (2010), se observó que la aplicación foliar de AS en plántulas de tomate incrementó significativamente varios parámetros de crecimiento. La concentración de 1 mM de AS aumentó la longitud de la raíz en un 43 %, el área foliar en un 38,6%, y la altura del vástago en un 14,8 % en comparación con el control. Además, esta misma dosis incrementó el peso fresco del vástago en un 33,8 %. A concentraciones más bajas, como 0,01 mM y 0,0001 mM, también se detectaron mejoras: el área foliar aumentó 27 % y 14 % respectivamente, y el perímetro de la raíz creció hasta un 50 % con la dosis más alta. Estos resultados evidencian una respuesta positiva dosis- dependiente del tomate ante la aplicación de AS, destacando su potencial como regulador de crecimiento vegetal.

En tomate cultivado en hidroponía bajo estrés salino, la aplicación de 10^{-4} M de AS promovió la recuperación de la actividad fotosintética y aumentó los niveles de ABA endógeno (Horváth et al., 2015). Valdez Sepúlveda et al. (2015) reportaron que las plántulas de tomate incrementaron la altura al ser asperjadas con AS 10^{-5} M. En concentraciones 1 y 0,01 μ M favoreció significativamente la longitud radicular de las plántulas y la formación de raíces secundarias en comparación con los controles (Dzib-Ek et al., 2021).

La aplicación foliar de AS en plántulas de tomate favorece determinadas variables de crecimiento y contenido mineral (Valdez Sepúlveda et al., 2015). Plantas de tomate provenientes de semillas tratadas con ácido salicílico, mostraron un efecto positivo en el área foliar, número de racimos, biomasa de hoja, raíz y tallos (Larramendi et al., 2008). Además, con 1 mM de SA se redujo el daño oxidativo y la mejora de la absorción de agua (Chen et al., 2023).

Poor et al. (2019) analizaron el efecto de diferentes concentraciones de AS sobre la actividad fotosintética y la morfología de los cloroplastos en hojas de tomate, tanto bajo luz como en oscuridad prolongada. El AS se aplicó exógenamente por aspersión foliar en dos concentraciones: 0,1 mM, considerada fisiológicamente activa y protectora, y 1 mM, asociada a efectos tóxicos. Se observó que la aplicación a baja concentración estimuló mecanismos fotoprotectores mientras que la concentración más alta provocó daños estructurales en cloroplastos, reducción del contenido de almidón y disminución del rendimiento fotosintético. La luz intensificó los efectos negativos del AS a 1 mM, provocando deformación de grana y pérdida de integridad de los tilacoides, mientras que la oscuridad atenuó parcialmente estos daños. La aplicación foliar de AS demostró tener

efectos dependientes tanto de la dosis como del momento fisiológico y de las condiciones ambientales (luz u oscuridad).

Sariñana-Aldaco et al. (2020) demostraron que la aplicación foliar de AS mejoró significativamente el rendimiento y la calidad nutracéutica del tomate cultivado en condiciones sin suelo. En términos de rendimiento, la dosis de 0,05 mM de AS incrementó el peso total de frutos por planta en 0,43 kg respecto al control, sin comprometer la producción con dosis mayores. En cuanto a la calidad física del fruto, la dosis de 0,125 mM de AS aumentó la firmeza en un 44,53 % y redujo la pérdida de peso en un 60,38 %, mientras que la dosis de 0,075 mM elevó el contenido de sólidos solubles (TSS) en 1,1 °Brix. A nivel nutracéutico, la concentración de 0,125 mM produjo los mayores beneficios: incrementó un 40,10 % los fenoles totales, un 166,76 % los flavonoides, un 20,15 % la capacidad antioxidante, un 16,92 % el contenido de licopeno y un 31,55 % la vitamina C, en comparación con las plantas no tratadas.

En otro estudio, plantas sometidas a estrés hídrico a los 20 y 30 días después de la siembra fueron rociadas con agua destilada doble o con AS 10^{-5} M a los 45 días. Se encontró que el estrés hídrico en una etapa temprana del crecimiento (20 días) fue más inhibitorio en comparación con la etapa posterior (30 días) y el AS mejoró parámetros fotosintéticos, entre otros (Hayat et al., 2008).

El estudio Qadir et al. (2019) mostró que la aplicación exógena de AS y glicina betaína (GB) mejoró significativamente la producción y calidad del tomate cherry bajo distintos regímenes de riego (cada 7, 14 y 21 días). Ambos compuestos aumentaron parámetros como peso y contenido de agua en hojas, clorofila, altura, rendimiento y calidad de los frutos. La mayor efectividad se observó con aplicaciones de AS y GB en condiciones de riego cada 14 y 21 días, destacando su potencial para mitigar los efectos del estrés hídrico.

Se han reportado resultados contrastantes sobre la eficacia del AS aplicado mediante cebado de semillas, al suelo (raíces) o por vía foliar (Krantev et al., 2008; Chakma et al., 2021). La eficacia de la aplicación exógena de AS depende de la especie vegetal, la etapa de desarrollo, la concentración aplicada, el método de aplicación y las condiciones ambientales (Hayat et al., 2010; Horváth et al., 2015; Poór et al., 2019; Chakma et al., 2021).

Como surge de los antecedentes expuestos, en tomate se investigaron formas disímiles para la aplicación exógena de esta fitohormona, utilizando distintos métodos, concentraciones y frecuencias de tratamiento, muchas veces útiles a nivel experimental, pero poco adecuados para su aplicación práctica. El potencial de esta fitohormona para contribuir a una producción más sustentable hace de interés encontrar formas de uso que resulten localmente prácticas para su incorporación a la producción. De esta manera, resulta necesario avanzar en el estudio del efecto que la forma de aplicación puede tener sobre la respuesta del cultivo en condiciones de restricción hídrica, buscando una mejor comprensión de los efectos que produce, así como generar información que aporte a poder realizar recomendaciones de uso.

4. HIPÓTESIS

El tratamiento de plantines de tomate con ácido salicílico mejora la adaptación de la planta a condiciones de deficiencia hídrica, sin afectar el crecimiento, producción o calidad de fruto; pudiendo observarse un efecto diferencial según forma de aplicación.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Investigar el efecto del modo de aplicación de ácido salicílico en plantines de tomate sobre su desempeño posterior al trasplante, cuando se someten a estrés por déficit hídrico durante el ciclo de cultivo.

5.2 Objetivos específicos

Observar el efecto de la forma y el momento de aplicación de ácido salicílico en plantas de tomate sobre su precocidad bajo condiciones de restricción hídrica durante su ciclo de cultivo.

Analizar el crecimiento de plantas de tomate sometidas a restricción hídrica según forma y momento de aplicación de ácido salicílico.

Cuantificar la productividad de plantas de tomate sometidas a restricción hídrica, según forma y momento de aplicación de ácido salicílico.

Caracterizar la calidad de frutos de tomate de plantas sometidas a restricción hídrica, según forma y momento de aplicación de ácido salicílico.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación del ensayo y material vegetal

Se condujeron dos ciclos de ensayos, en un invernadero parabólico de 24 m x 40 m ubicado en la Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhörn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires (34° 58' S, 57° 54' W) (Fig. 4). El suelo de cultivo está clasificado como Argiudol vértico Serie Estancia Chica (Magliano et al., 2018). El terreno fue preparado mediante cincel como labranzas primarias, y rotativa y alomador como secundarias, sistematizándolo en lomos con un espaciamiento de 0,80 m cubiertos con mulching de plástico negro. Previo al trasplante se realizó un análisis del suelo para conocer sus características físicas y químicas, y decidir las necesidades de fertilización durante el cultivo.

Se utilizó el híbrido Yigido F1 (Seminis) de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), de tipo redondo y de hábito de crecimiento indeterminado. El cultivo se inició por trasplante en el mes de agosto en ambos años: 16/08/2023 y 29/08/2024, a partir de plantines provistos por una plantinera comercial. Las plantas se condujeron en forma vertical, con hilo, a una rama y un distanciamiento de 0,25 m entre plantas (Fig. 5). Se utilizó riego por goteo y fertirrigación, aplicando: KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.



Figura 5. Cultivo de tomate en invernadero. Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhörn, La Plata, 2023 y 2024.

6.2 Condiciones ambientales

Durante todo el periodo de ensayos, se dispuso en el centro del invernadero una estación meteorológica automática Advantage Pro2® (Davis Instruments, USA), con sensores colocados a 1,5 m desde el nivel del suelo, con registro cada 30 minutos de la temperatura del aire y humedad relativa. Las condiciones ambientales registradas durante los ensayos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones ambientales en el interior del invernadero en que se desarrollaron los ensayos. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 2023 y 2024.

Mes	2023		2024	
	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)
Agosto	14,3	68,0	14,8	71,7
Septiembre	15,2	68,3	17,8	68
Octubre	17,8	64,3	20,5	68,9
Noviembre	20,1	62,8	22,7	69,5
Diciembre	23,0	68,7	22,0	58,5

6.3 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en:

1. Tres niveles de irrigación, con aplicación de restricción hídrica:
 - a. Sin restricción hídrica (capacidad de campo) (R1)
 - b. 60 % del umbral de riego, correspondiente a 40 % de capacidad de campo (R2)
 - c. 40 % del umbral de riego, correspondiente a 60 % de capacidad de campo (R3)

2. Forma de aplicación del ácido salicílico

- a. Riego del sustrato (drench) con solución 1×10^{-4} M de ácido salicílico (1 ml por planta) únicamente 24 h pretrasplante (Drench 1)
- b. Aspersión foliar con solución 1×10^{-4} M de ácido salicílico (punto de goteo) únicamente 24 h pretrasplante (Foliar 1)
- c. Riego del sustrato (drench) con solución 1×10^{-4} M de ácido salicílico (1 ml por planta) 24 h pretrasplante y luego cada 30 días a razón de 30 ml por planta durante 90 días, totalizando 3 aplicaciones posteriores al trasplante con la misma concentración (Drench 30)
- d. Aspersión foliar con solución 1×10^{-4} M de ácido salicílico (punto de goteo) 24 h pretrasplante y luego cada 30 días a punto de goteo durante 90 días, totalizando 3 aplicaciones posteriores al trasplante con la misma concentración (Foliar 30)
- e. Testigo sin aplicación (Testigo)

Los niveles de irrigación del 60 % y 40 % del umbral de riego se decidieron considerando que en la fase de llenado de frutos (periodo de mayor demanda), se debe mantener el suelo a un 70 % de capacidad de campo como mínimo (Argerich y Troilo, 2011).

Para la definición de los tratamientos de irrigación, previo al inicio de los ensayos, se determinó el contenido hídrico del suelo en el estrato superficial (primeros 30 cm) a través del cálculo de humedad equivalente por el método de Mizuno et al. (1978). Con la humedad presente en las muestras y sometiendo las mismas a estufas hasta peso constante, se determinó el agua útil, obteniendo la capacidad de almacenaje del suelo en esos 30 cm. También se determinó la densidad aparente con densímetro.

Para manejar los niveles de restricción hídrica y la necesidad de riego se trabajó tomando en cuenta el agua consumida diariamente por el cultivo. Este dato se calculó a partir de la evapotranspiración de referencia (Eto), brindado diariamente por la estación meteorológica, multiplicado por el Kc del cultivo de tomate, según etapa fenológica (información

suministrada por el programa Cropwat 8.0 para Window, FAO), obteniéndose así la evapotranspiración del cultivo (Etc). El manejo del déficit hídrico a partir de Etc fue también utilizado en tomate sometido a tratamientos con distintas dosis de AS por Aires et al. (2022). A partir de esta información, se definía diariamente el momento y tiempo de riego para cada tratamiento, para lo cual se midieron los caudales erogados por los goteros y se determinó la lámina horaria que aportaba cada uno.

La restricción hídrica fue aplicada desde 30 días después del trasplante, para permitir el crecimiento del sistema radicular de los plantines, hasta la finalización de la cosecha. Para iniciar la aplicación de los tratamientos de restricción hídrica, el suelo fue regado hasta capacidad de campo para todo el cultivo. En el tratamiento sin restricción hídrica, el riego se realizó de manera periódica en función del consumo de agua diario. En los tratamientos con restricción hídrica, el cultivo se mantenía sin irrigación hasta alcanzar el umbral de riego correspondiente, en función de los datos de ETC diarios. Alcanzados los umbrales de riego el suelo se regaba hasta capacidad de campo. A través de esta metodología las plantas fueron sometidas a periódicos estreses por déficit hídrico.

Respecto al AS, la aplicación de una solución 1×10^{-4} M, a razón de 1 ml por planta, al cuello de la planta (drench) 24 horas antes del trasplante se corresponde con la metodología utilizada por Martínez (2021) para tomate de hábito de crecimiento indeterminado, cultivado bajo invernadero en La Plata, siendo una concentración con la que se lograron incrementos significativos de rendimiento, sin que se afecte el crecimiento de la planta. La aplicación foliar se realizó con mochila hasta punto de goteo, coincidente con la forma de tratamiento realizada por Morales González y González Hernández (2017) en la evaluación de la aplicación de AS en tomate. Además, se optó por esta metodología por considerarse una medida que asegura una buena cobertura de la planta a tratar y ser un indicador utilizado para otro tipo de aplicaciones foliares (Páez Cano et al., 2012). Para los tratamientos por drench posteriores al trasplante, el volumen de 30 ml de solución de AS por planta se decidió en función de antecedentes en los que, trabajando también en tomate con una solución de AS de igual concentración y forma de aplicación a la utilizada en estos ensayos, se utilizaron 20 y 40 ml por planta (Senaratna et al., 2000; Stevens et al., 2006).

6.4 Diseño experimental

Los ensayos se condujeron según un diseño en franjas con 3 repeticiones y arreglo factorial 3 x 5. Las parcelas mayores correspondieron a los niveles de restricción hídrica, ubicándose en éstas las formas de aplicación del ácido salicílico (parcelas menores) de forma aleatoria. Cada parcela menor tuvo 2,5 m de longitud con 10 plantas.

6.5 Variables evaluadas

6.5.1 Variables fenológicas y bioclimáticas

Las observaciones fenológicas y su expresión en número de días y grados-día acumulados desde el trasplante permiten conocer el efecto de la forma de aplicación de ácido salicílico sobre la precocidad y ocurrencia de las distintas fases en la planta.

- Fecha de floración, fructificación y cosecha: se registró la fecha de inicio de floración y fructificación por racimo. Se consideró inicio de fase cuando el 20 % de las plantas de la parcela alcanza la misma, computando la apertura de al menos una flor (de la inflorescencia correspondiente) en el conjunto de plantas consideradas para la observación, y la fructificación cuando se produjo el cuajado de frutos en las flores observadas previamente (Guaymasí et al., 2018). También se registró la fecha de la primera cosecha.
- Días desde trasplante: en base a las observaciones fenológicas se calculó la cantidad de días desde el trasplante hasta el inicio de cada fase, comienzo y final de cosecha.
- Grados-día acumulados (GDA): se calcularon grados-día acumulados desde el trasplante hasta el inicio de las distintas fases, utilizando el Método Residual, según el siguiente modelo: $GDA = T_m - T_b$, T_m = temperatura media diaria, obtenida de la estación meteorológica ubicada dentro de invernadero y T_b = temperatura base, considerando una temperatura base de 10 °C (Guaymasí et al., 2018).

6.5.2 Variables de crecimiento y fisiológicas

Estas observaciones tuvieron la finalidad de evaluar la evolución de las plantas en el tiempo e identificar la perdurabilidad del efecto de la aplicación de ácido salicílico.

El diámetro de tallo, altura de planta e índice de verdor se midieron sobre seis plantas seleccionadas al azar e individualizadas al inicio del ensayo, por cada parcela menor y repetición, promediando las mediciones para el análisis de datos. El largo y ancho de hoja, para la estimación del área foliar, se registró sobre tres plantas por parcela menor y repetición, seleccionadas del mismo modo que las anteriores.

- Diámetro de tallo (mm): se midió utilizando un calibre electrónico tipo Vernier a los 5 cm sobre el nivel del suelo.
- Altura de planta (cm): se registró longitud del tallo desde el cuello hasta el ápice en forma directa con cinta milimetrada.

La altura y diámetro de tallo se registraron desde el trasplante, realizando mediciones cada 15 días hasta la floración del sexto racimo (aproximadamente 70 días después del trasplante)

- Área foliar (AF) (cm²): se realizó a través de una metodología no destructiva, propuesta por Astegiano et al. (2001). Con cinta milimetrada se registró el largo de la hoja (L), desde su punto de inserción al tallo hasta el ápice y el ancho máximo (A), aplicando la siguiente ecuación: $AF = 0,34 \times (L \times A) - 9,31$ (). Se midió la hoja superior e inferior del cuarto racimo.
- Índice de verdor (unidades SPAD): se realizó mediante un medidor de clorofila SPAD - 502 Plus (Konica Minolta). La determinación se realizó sobre el foliolo terminal de la última hoja expandida, promediando 5 mediciones por hoja.

6.5.3 Variables productivas

- Rendimiento total y por categorías comerciales: se cosecharon todas las plantas de cada parcela, clasificando los frutos en las siguientes categorías: frutos de 1°: peso superior a 150 g, frutos de 2°: peso mayor a 100 g y menor a 150 g, frutos de 3°: peso menor a 100 g. La suma de las tres categorías constituye el rendimiento total. Se utilizó una balanza comercial digital. También se registró el número de frutos.
- Peso medio de fruto: se calculó como el cociente entre el rendimiento y el número total de frutos cosechados.

6.5.4 Variables de calidad organoléptica de los frutos

Para la evaluación de la calidad organoléptica se tomaron al azar 10 frutos, al estado rojo maduro, por cada tratamiento y repetición en el final de ciclo del cultivo (cosecha del 7° a 8° racimo). Se determinaron sólidos solubles totales y acidez titulable siguiendo las metodologías descritas por Sánchez-García et al. (2012).

- Sólidos solubles totales (SST) (%): los frutos se cortaron longitudinalmente, se recolectaron tres gotas de jugo y se colocaron sobre la celda de un refractómetro óptico portátil con escala de 0-32 %.
- Acidez titulable (AT) (meq de ácido cítrico): a una alícuota de 10 ml de jugo se le adicionaron tres gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0,1 N registrando el volumen utilizado. $AT \text{ (meq de ácido cítrico)} = [\text{Volumen NaOH (ml)} \times N \text{ NaOH} \times \text{meq de ácido cítrico} / \text{Volumen jugo (ml)}]$.

6.6 Análisis de datos

Los datos se sometieron a análisis de la varianza, evaluando diferencias entre medias por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Para investigar la evolución en el tiempo de variables de crecimiento (curvas de crecimiento) se utilizó el análisis de regresión. Se utilizó el software estadístico Infostat.

7. RESULTADOS

7.1 Fenología y precocidad a cosecha

7.1.1 Días a floración

En 2023, los días desde trasplante a floración, del primer al sexto racimo, no fueron significativamente modificados por los tratamientos de AS ni los niveles de riego.

En 2024 se encontraron diferencias significativas en los días entre trasplante y floración en respuesta al nivel de restricción hídrica en el primer, segundo y tercer racimo, observándose una tendencia a que la fase se retrasara cuando se mantuvo un umbral de riego del 40 % (R3).

Tabla 3: Días entre trasplante e inicio de floración del 1° a 6° racimo según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

		Racimo					
		1°	2°	3°	4°	5°	6°
Nivel de irrigación	R1	25 B	39 B	46 B	58 A	65 A	71 A
	R2	25 B	39 B	46 B	57 A	64 A	72 A
	R3	26 A	40 A	48 A	60 A	67 A	74 A
Tratamiento AS	Testigo	26 a	39 c	46 bc	57 b	64 b	72 b
	Drench 1	25 a	39 a	46 c	58 b	64 b	72 b
	Foliar 1	25 a	40 c	47 ab	58 ab	66 ab	73 ab
	Drench 30	25 a	40 ab	48 a	60 a	67 a	74 b
	Foliar 30	25 a	39 bc	47 bc	58 ab	64 b	72 b
p nivel de irrigación (R)		0,0440	0,0010	0,0057	0,0838	0,1040	0,3630
p tratamiento AS (AS)		0,6500	0,0007	0,0018	0,0087	0,0046	0,0026
p R x AS		0,0900	0,0001	< 0,0001	0,3065	0,4152	0,2626

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1 x 10⁻⁴ M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey (p<0,05): mayúsculas entre tratamientos de nivel de irrigación y minúsculas entre tratamientos de AS.

En el segundo, tercer, cuarto y sexto racimo las variaciones significativas en los días a floración se

presentaron por efecto de los tratamientos de AS, observándose un retraso cuando se utilizó la aplicación Drench 30. En términos generales, los tratamientos Drench 1 y Testigo tuvieron la menor cantidad de días a la floración. En el segundo y tercer racimo, los días a floración fueron significativamente afectados por la interacción entre el nivel de restricción hídrica y la forma de aplicación del AS (Tabla 3).

En la floración del segundo racimo, R1 y R2 no presentaron diferencias significativas ocasionadas por la forma de aplicación del AS; mientras que en R3 la aplicación Drench 30 produjo un retraso significativo en el inicio de la fase, diferenciándose en 5 días con respecto a Drench 1 y 4 días con respecto a los demás tratamientos (Fig. 6). En la floración del tercer racimo en el nivel de riego R1, el tratamiento de Foliar 1 fue dos días más tardío que los demás tratamientos. En R2 Testigo y Foliar 1 fueron los más tardíos. En R3 el tratamiento Drench 30 fue el más tardío, mientras que el Testigo y Drench 1 fueron los más precoces, con una diferencia de 5 días en relación a Drench 30 (Fig. 7)

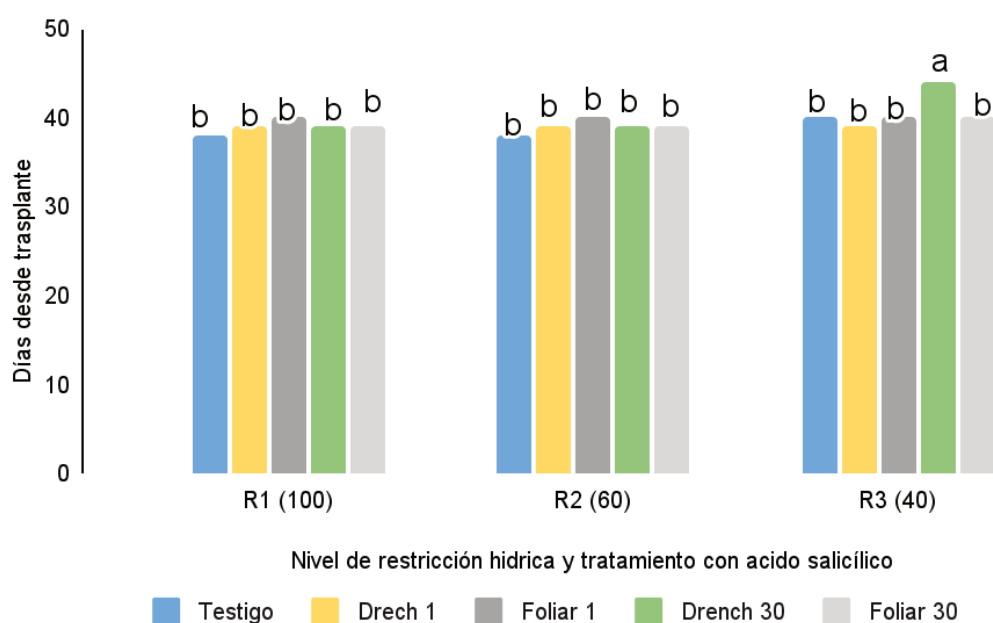


Figura 6. Días de trasplante a inicio de floración del 2º racimo en tomate cv. Yigido según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60% del umbral de riego y R3: 40% del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey ($p < 0,05$).

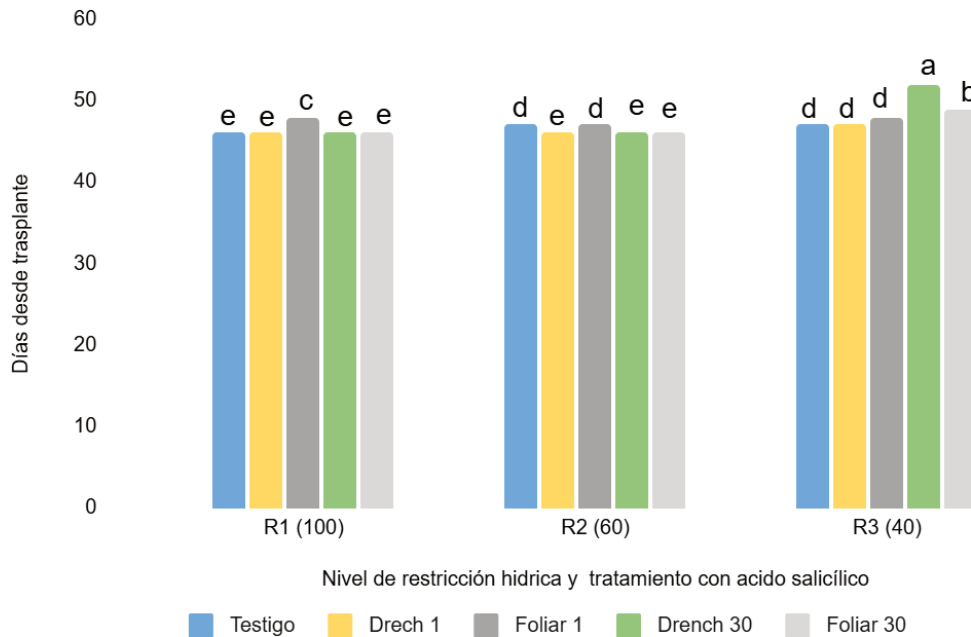


Figura 7. Días de trasplante a inicio de floración del 3° racimo en tomate cv. Yigido según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey ($p < 0,05$).

7.1.2 Días a Fructificación

En el año 2023, no hubo diferencias significativas entre niveles de irrigación, tratamientos de AS o la interacción de factores entre primer y quinto racimo; mientras que en sexto racimo se observó un efecto significativo de la interacción de tratamiento de AS y nivel de riego, registrándose en R3 un retraso en el inicio de fructificación de 5 días cuando se aplicó AS por Drench 30 en comparación al testigo (98 y 93 días respectivamente). Cabe señalar que durante los dos años de ensayo las temperaturas medias diarias siempre fueron superiores a la temperatura base de la especie.

En 2024, los días a fructificación fueron significativamente modificados por el nivel de restricción hídrica en el primer, segundo, tercer y cuarto racimo. En cuanto a los tratamientos de aplicación de AS, hubo diferencias a partir de la segunda fructificación (Tabla 4). El tratamiento

Drench 30 fue el consistentemente más tardío mientras que Testigo y Drench 1 fueron los más precoces.

Tabla 4: Días entre trasplante e inicio de fructificación del 1° a 6° racimo según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

		Racimo					
		1°	2°	3°	4°	5°	6°
Nivel de irrigación	R1	32 B	46 B	56 B	64 B	71 A	80 A
	R2	32 B	46 B	56 B	64 B	72 A	80 A
	R3	35 A	48 A	58 A	67 A	74 A	82 A
Tratamiento AS	Testigo	34 a	46 b	56 b	64 c	72 b	80 b
	Drench 1	34 a	46 b	56 b	64 c	72 b	80 b
	Foliar 1	33 a	47 ab	58 a	66 ab	73 ab	81 b
	Drench 30	32 a	48a	58 a	67 a	74 a	83 a
	Foliar 30	32 a	47 ab	57 ba	65 abc	72 b	80 b
p nivel de irrigación (R)		0,0001	0,0060	0,0465	0,0170	0,3187	0,2716
p tratamiento AS (AS)		0,1746	0,0119	0,0044	0,0069	0,0024	0,0090
p R x AS		0,1000	0,0008	0,0064	0,4059	0,3400	0,1123

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$): mayúsculas entre tratamientos de nivel de irrigación y minúsculas entre tratamientos de AS.

En el año 2024, existió interacción entre nivel de riego y tratamiento con AS en la segunda y tercera fructificación (Tabla 4).

Respecto a la interacción entre factores observada en la segunda fructificación, con el nivel de riego sin restricción (R1) no hubo diferencias entre tratamientos de AS; mientras que los tratamientos Foliar 30 y Drench 30 fueron significativamente más tardíos con nivel de restricción severa y moderada, respectivamente (Fig. 8). En la fructificación del tercer racimo, los tratamientos Drench 30 y Foliar 30 con nivel de riego R3 fueron los más tardíos, mientras que el Testigo con el nivel R1 fue el más precoz, existiendo una diferencia de 7 días entre Drench 30-R3

y el Testigo-R1 (Fig. 9).

Cabe destacar, que tanto en floración como en fructificación los menores días fueron para el tratamiento Testigo sin restricción hídrica.

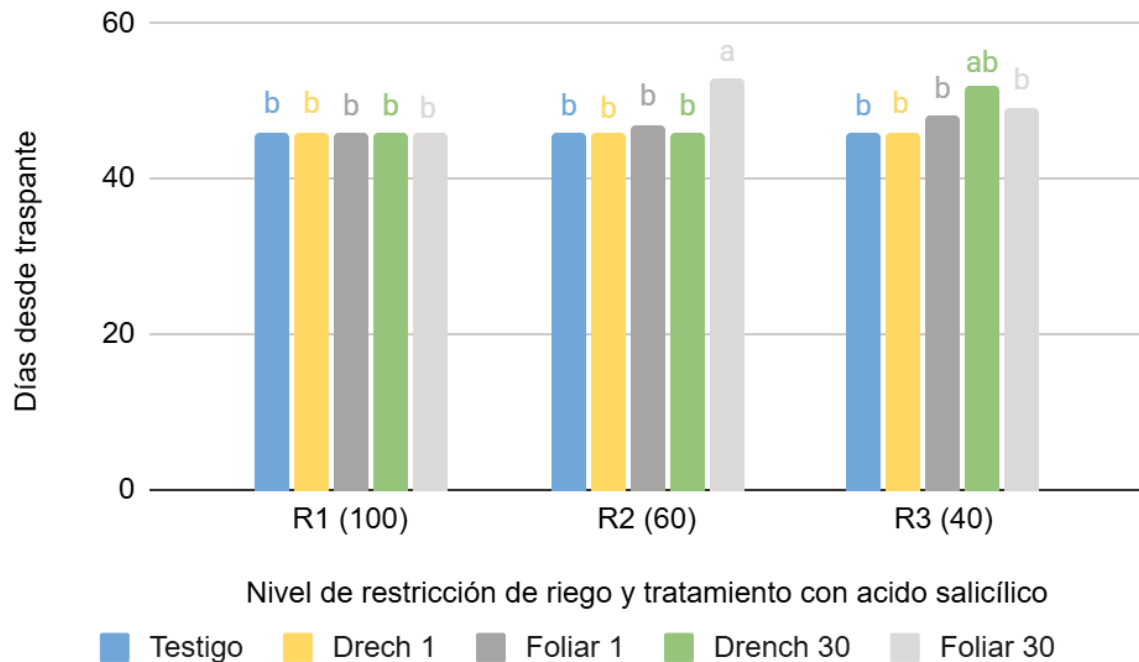


Figura 8. Días de trasplante a inicio de fructificación del 2º racimo en tomate cv. Yigido según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey (p<0,05).

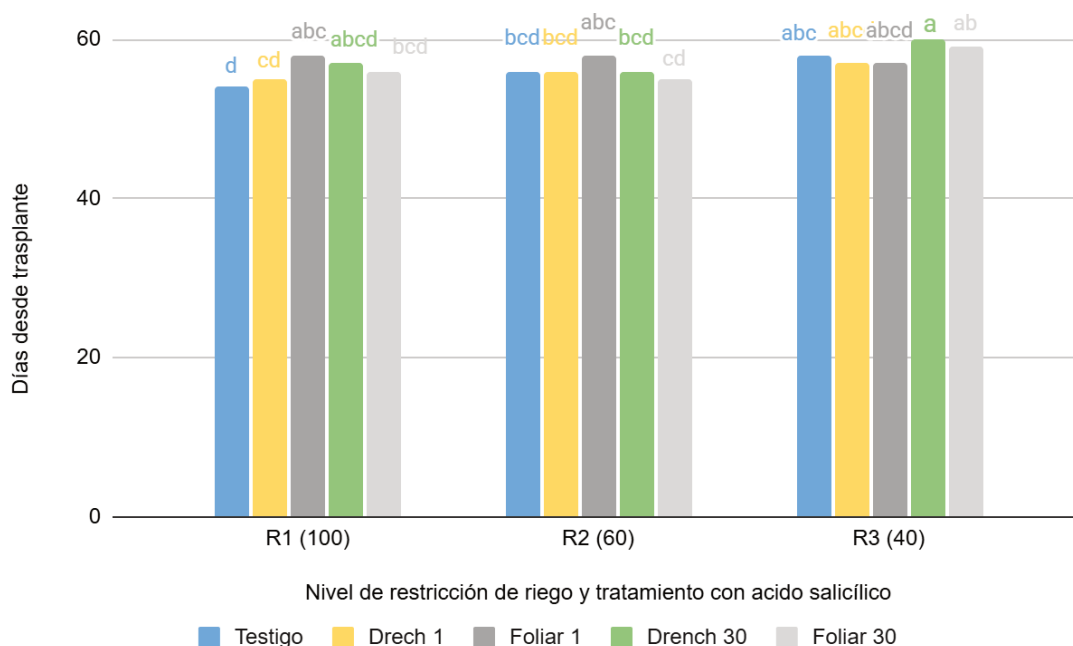


Figura 9. Días de trasplante a inicio de fructificación del 3° racimo en tomate cv. Yigido según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS). La Plata, 2024. Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.p⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1 x 10⁻⁴ M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey (p<0,05).

7.1.3 Días a inicio de cosecha

En 2023 la precocidad a cosecha fue significativamente modificada por el tratamiento de aplicación de AS y el nivel de restricción hídrica, sin efecto de la interacción entre factores. El tratamiento Foliar 1 fue el más precoz, iniciando la cosecha a los 92 días después del trasplante, diferenciándose significativamente del tratamiento Foliar 30, que fue el más tardío, iniciando la cosecha a los 95 días después del trasplante (Fig. 10A). Los tratamientos con restricción hídrica adelantaron la cosecha en relación con R1 (Fig. 10B).

En el año 2024 no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (p<0,005), iniciándose la cosecha, en promedio 78 a 82 días después del trasplante. Puede mencionarse que el nivel de riego R1 fue 3 días más tardío que R3 y 2 con respecto a R2; sin observarse diferencias por los tratamientos de aplicación de AS.

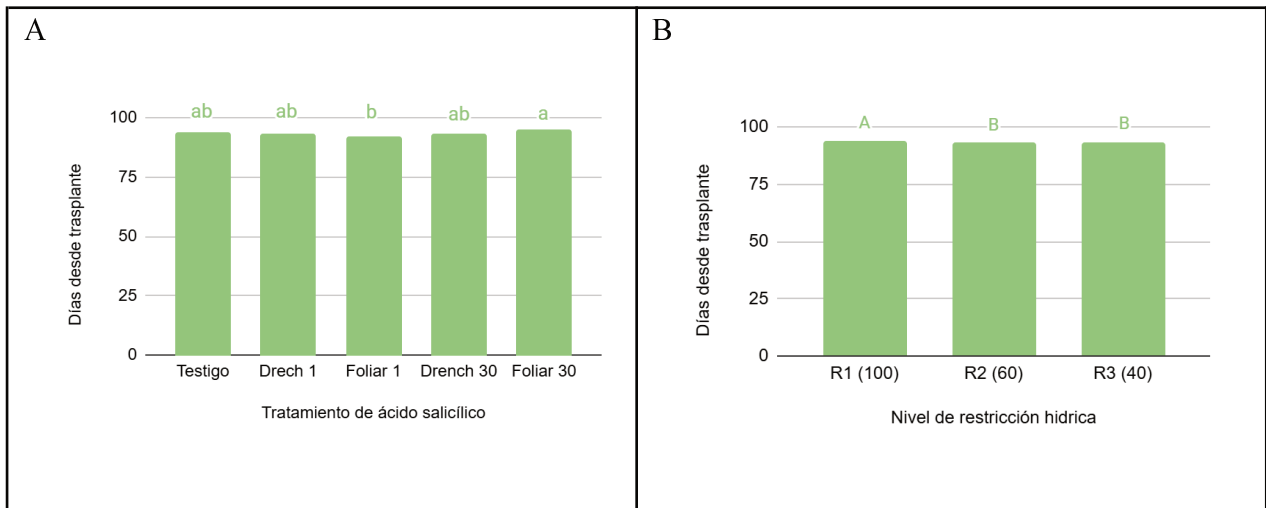


Figura 10. Días de trasplante a inicio de cosecha en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2023.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey ($p < 0,05$).

7.1.4 Grados Días Acumulados (GDA)

Las variaciones en grados día acumulados desde el trasplante a inicio a cada fase fueron coincidentes con lo observado en los días a floración y fructificación de cada racimo, según nivel de restricción hídrica, aplicación de AS y su interacción. (Tabla 5 y Tabla 2). Se observó lo mismo con respecto GDA a primera cosecha, que fue de 613 en el año 2023 y 756 en el 2024. Esta diferencia de comportamiento, por efecto de la fecha de trasplante y las diferencias entre las temperaturas, indicaron que sería lo más adecuado analizar cada año por separado.

Tabla 5: Grados día acumulados (GDA) entre trasplante e inicio de floración y fructificación, del 1° a 6° racimo en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023 y 2024.

GDA	Racimo					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Inicio de floración 2023	136	242	313	382	456	696
Inicio de floración 2024	170	288	362	485	576	664
Inicio de fructificación 2023	222	311	372	454	499	608
Inicio de fructificación 2024	232	361	476	574	665	761

7.2 Crecimiento e índice de verdor

7.2.1 Altura de planta

En 2023, evaluando el crecimiento en altura, en general se observó una evolución en cuatro etapas, la primera desde los 11 hasta los 27 días desde el trasplante (DDT), en la que el crecimiento se dio a razón de $0,07 \text{ cm.día}^{-1}$. Luego, entre los 27 y 35 DDT se observó un aumento de tasa de crecimiento en altura, pasando de 22,7 cm a 37,7 cm ($1,88 \text{ cm.día}^{-1}$). A continuación, entre los 35 y 52 DDT las plantas crecieron $2,2 \text{ cm.día}^{-1}$. Una cuarta etapa en donde la tasa de crecimiento en altura disminuyó levemente a $2,1 \text{ cm.día}^{-1}$, logrando una altura media final de 104 cm (Fig. 11). No se observaron diferencias significativas por los tratamientos de aplicación de AS (Fig. 11A) ni por los niveles de restricción hídrica, aunque se ve una tendencia a una mayor altura en el caso del nivel de riego sin restricción (R1), el cual al final del periodo de crecimiento se diferenció en 7 cm con respecto a los niveles R2 y R3 (Fig. 11B).

En 2024, se observó que la altura disminuyó con la aplicación de AS a los 52 DDT en comparación al testigo, en un 15,5 % (Fig. 12A). Según nivel de riego, se encontró que los valores de altura fueron significativamente mayores en R1, en todas las fechas con la excepción de la primera medición. Luego se puede observar que el nivel de riego R2 tuvo una mayor altura que R3 (Fig. 12B).

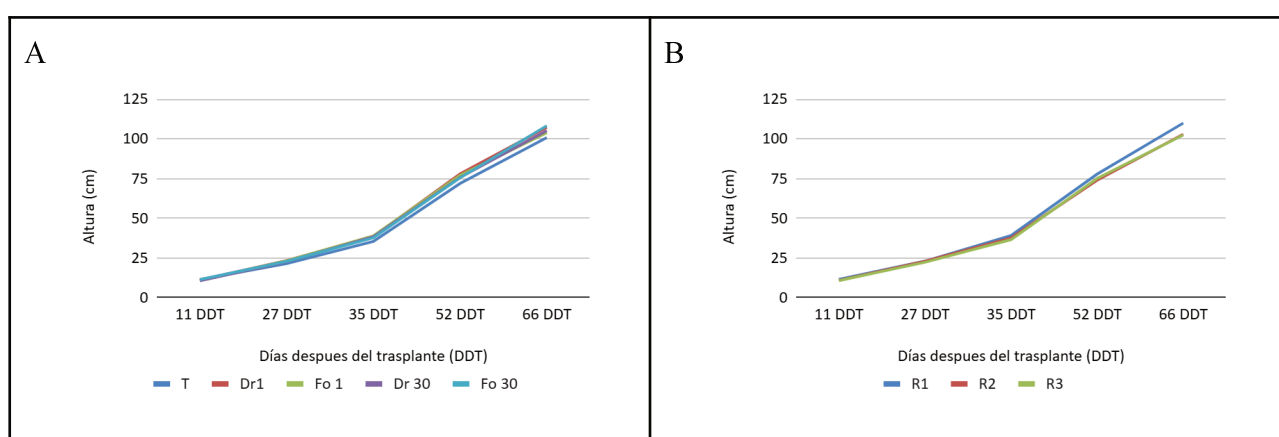


Figura 11. Altura de planta (cm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2023.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. T: sin aplicación de AS. Dr1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Dr 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Fo 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Fo 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo.

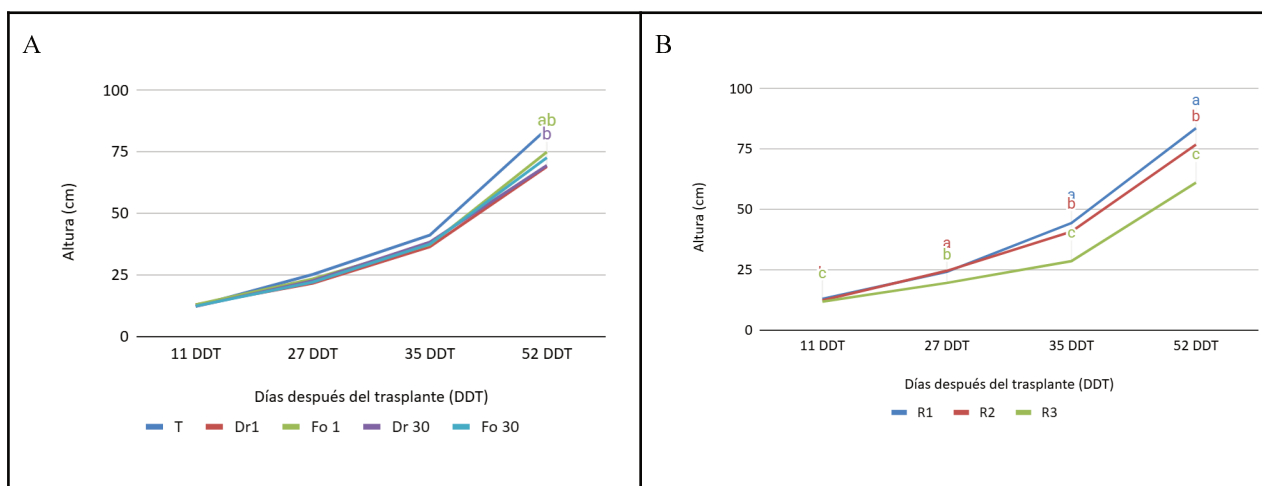


Figura 12. Altura de planta (cm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2024.

Referencias: letras diferentes en cada una de las fechas de medición sobre las líneas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey ($p < 0,05$). R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. T: sin aplicación de AS. Dr 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Dr 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Fo 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Fo 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo.

7.2.2 Diámetro de tallo

El diámetro de la base del tallo de las plantas de tomate ‘Yigido’ durante el periodo de crecimiento del año 2023, siguió un patrón sigmoideal, presentando una etapa inicial, entre los 9 DDT y 23 DDT, donde los incrementos fueron escasos, seguido de una etapa de rápido crecimiento, entre los 23 y los 44 DDT logrando 9,25 mm. A partir de ahí el aumento en el diámetro de la base de las plantas volvió a disminuir hasta alcanzar los 11,8 mm finales (Fig. 13). En cuanto a los tratamientos de AS, no se observó efecto significativo sobre esta variable (Fig. 13A). Por otro lado, los niveles de riego solo mostraron diferencias significativas a los 59 DDT con un mayor diámetro de las plantas sin restricción hídrica (Fig. 13 B).

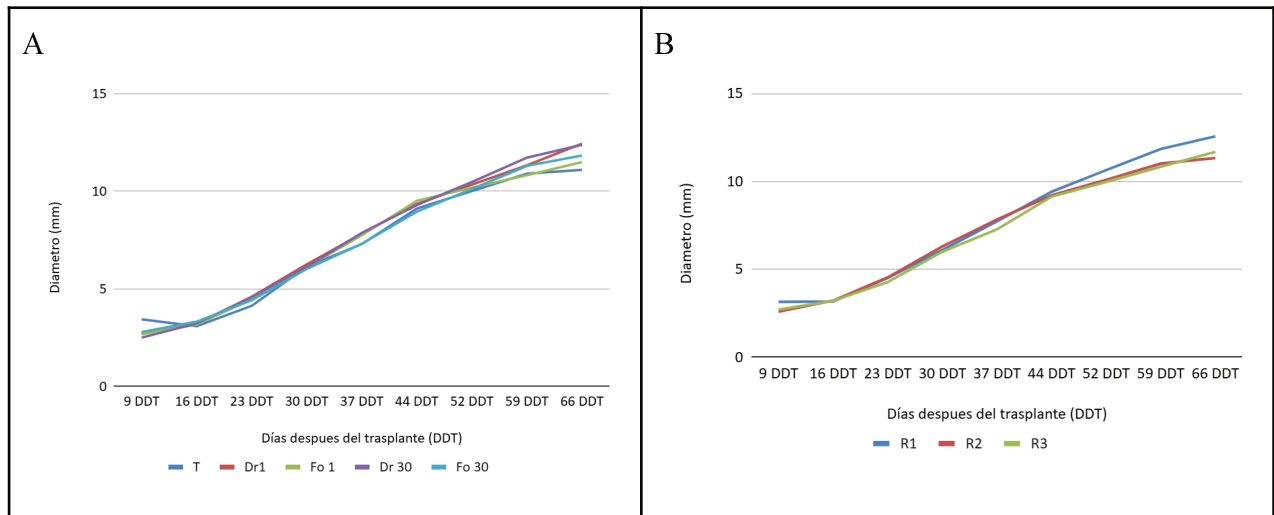


Figura 13. Diámetro de tallo (mm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2023.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. T: sin aplicación de AS. Dr 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Dr 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Fo 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Fo 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo.

En el año 2024, se observó respuesta significativa del diámetro de tallo a la aplicación de AS, que hubo diferencias significativas 20, 27, 35 y 87 DDT, encontrando el mayor diámetro en el Testigo (Fig. 14A). En cuanto a los niveles de restricción hídrica, el tratamiento sin restricción (R1) fue el que tuvo mayor diámetro durante todo el ciclo. El nivel de restricción R2 restricción tuvo un mayor diámetro que el tratamiento con nivel R3 hasta los 60 DDT. Luego de dicha fecha se encontraron ambos en el mismo nivel (Fig. 14B).

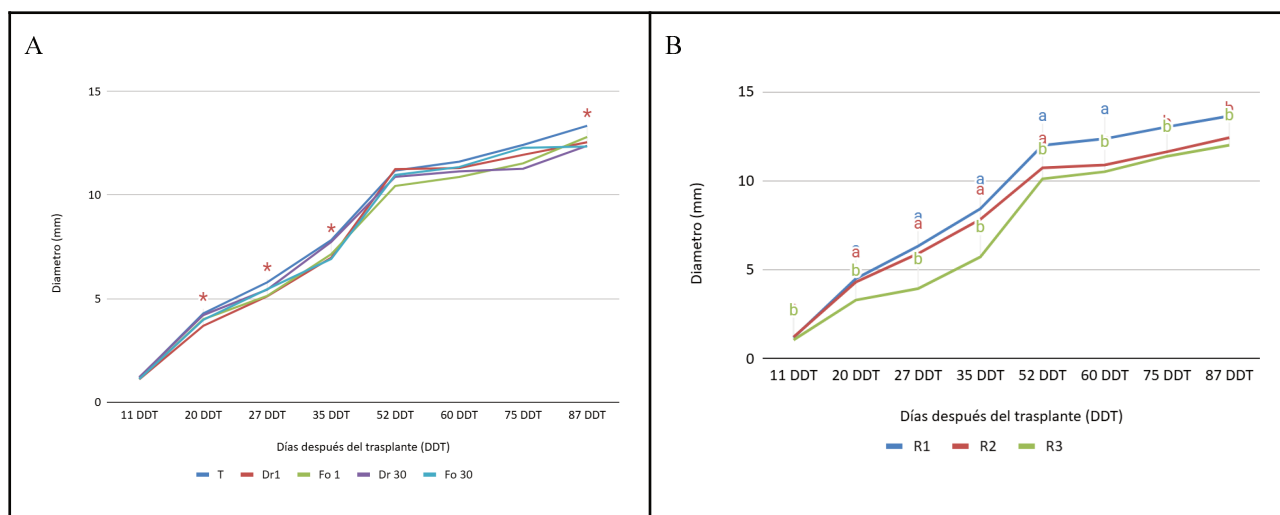


Figura 14. Diámetro de tallo (mm) en tomate cv. Yigido según: A) tratamiento con ácido salicílico (AS) y B) nivel de irrigación (R). La Plata, 2024.

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. T: sin aplicación de AS. Dr 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Dr 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Fo 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Fo 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. En figura A asteriscos y en figura B letras diferentes en cada una de las fechas de medición sobre las líneas indican diferencias estadísticas significativas, según test Tukey ($p < 0,05$).

7.2.3 Área Foliar

En el año 2023, el área foliar, tanto en la hoja inferior como superior al cuarto racimo, fue significativamente modificada por la interacción entre el nivel de restricción hídrica y el tratamiento de aplicación de AS. En la hoja inferior, sin restricción hídrica (R1), se observó una tendencia al incremento del área foliar en el tratamiento Drench 1. Con el nivel de restricción R2, hubo una disminución del área foliar con el tratamiento Foliar 30; mientras que el mismo tratamiento tendió a producir un incremento de área foliar con el nivel de restricción R3, diferenciándose del testigo. En la hoja superior, en ausencia de restricción hídrica también fue el tratamiento Drench 1 el que incrementó el área foliar, diferenciándose del Testigo y de la aplicación Foliar 1. Con la restricción R2, se observó una tendencia mayor área foliar con los tratamientos Drench 1 y Foliar 1; mientras que en R3 la menor área foliar se registró en el Testigo (Tabla 6).

Tabla 6. Área foliar (cm²) de las hojas inmediatas inferior y superior al 4° racimo, según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

Tratamiento/Riego	Posición de la hoja											
	Inferior						Superior					
	R1		R2		R3		R1		R2		R3	
Testigo	408,4	abc	368,9	abc	328,2	c	401,0	b	404,2	b	423,4	b
Drench 1	483,0	a	431,6	abc	407,6	abc	547,9	a	471,8	ab	451,5	ab
Foliar 1	429,6	abc	421,2	abc	471,1	ab	429,6	b	461,4	ab	473,1	ab
Drench 30	401,1	abc	455,8	abc	440,2	abc	476,8	ab	370,9	b	464,4	ab
Foliar 30	454,3	abc	344,6	bc	484,8	a	473,1	ab	360,1	b	450,9	ab
p nivel de irrigación (R)	0,1700						0,0490					
p tratamiento AS (AS)	0,4100						0,5960					
p R x AS	0,0068						0,0065					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1 x 10⁻⁴ M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey (p<0,05).

En el año 2024, en el área de la hoja inferior al cuarto racimo se encontraron diferencias significativas en el nivel de riego y el tratamiento de AS, sin efecto de la interacción. El nivel R3 tuvo la mayor área foliar (377,11 cm²), seguido por R1 (352,29 cm²) y diferenciándose de R2 (286,78 cm²). Con respecto a los resultados de los tratamientos con AS, Drench 30 fue el que tuvo la menor área foliar (valor medio: 292,39 cm²), siendo 15 % inferior al testigo (valor medio: 344,38 cm²), diferenciándose de todos los tratamientos, salvo de Foliar 1 (366,64 cm²). En la hoja superior al cuarto racimo, el área foliar fue modificada por la interacción entre el nivel de restricción hídrica y los tratamientos de AS. En R1 se observó una tendencia a la disminución del área foliar en Drench 30. En R2, el tratamiento Foliar 1 tendió a incrementar el área foliar, mientras que ésta mostró una tendencia decreciente con Drench 30 y Foliar 30; mientras en R3 el Testigo alcanzó mayor valor, diferenciándose de los tratamientos Foliar 30 y Drench 30 (Tabla 7).

Tabla 7. Área foliar (cm²) de las hojas inmediatas inferior y superior al 4° racimo, según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

Tratamiento/Riego	Posición de la hoja											
	Inferior						Superior					
	R1		R2		R3		R1		R2		R3	
Testigo	371,2	abcd	263,7	cd	398,3	ab	300,9	abcd	259,2	bcd	358,0	a
Drench 1	346,5	abcd	355,1	abcd	398,0	ab	286,1	abcd	254,7	bcd	334,2	abc
Foliar 1	372,0	abc	278,3	bcd	359,6	abcd	298,9	abcd	268,1	abcd	242,4	cd
Drench 30	327,4	abcd	239,7	d	310,1	abcd	226,6	d	211,8	d	247,6	bcd
Foliar 30	344,3	abcd	297,1	abcd	419,6	a	265,3	abcd	208,7	d	341,2	ab
p nivel de irrigación (R)	0,0400						0,1200					
p tratamiento AS (AS)	0,0097						0,0690					
p R x AS	0,2100						0,0110					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.2.4 Índice de verdor

El índice de verdor no presentó diferencias significativas atribuibles al nivel de riego, aplicación de AS o la interacción entre ambos factores. Solo se puede observar un mayor valor de SPAD en el año 2023 en comparación al año 2024 (Tabla 8).

Tabla 8: Índice de verdor (unidades SPAD) según nivel de irrigación (R) y tratamientos con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023 y 2024.

Año	2023	2024
Unidades SPAD	59,64	48,60
p nivel de irrigación (R)	0,1395	0,0570
p tratamiento AS (AS)	0,7270	0,1643
p R x AS	0,1762	0,5851

7.3 Productividad del cultivo

7.3.1 Rendimiento total

En el año 2023, el rendimiento total fue modificado según la interacción entre el nivel de riego y el tratamiento de AS. Los tratamientos sin restricción hídrica presentaron mayor rendimiento total, con diferencias significativas respecto a R2 en el Testigo sin AS y respecto a R3 en el tratamiento Foliar 1. Drench 1, Drench 30 y Foliar 30 produjeron rendimientos totales significativamente mayores en R1, diferenciándose significativamente tanto de R2 como de R3. Por otra parte, todos los tratamientos con AS incrementaron en rendimiento en R2 respecto al Testigo, observándose diferencias significativas respecto a este cuando el AS fue aplicado según los tratamientos Drench 1 o Foliar 1 (Tabla 9).

En 2024, el rendimiento total fue modificado significativamente únicamente por el nivel de irrigación, observándose rendimientos significativamente superiores en las plantas cultivadas sin restricción hídrica (Tabla 10).

Tabla 9: Rendimiento total (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	2440,1	abc	597,2	g	1710,2	cdef
Drench 1	2779,4	a	1613,8	def	1537,3	def
Foliar 1	2533,6	ab	1820,8	bcde	1213,5	efg
Drench 30	2435,3	abc	1360,7	efg	1222,3	efg
Foliar 30	2179,7	abcd	1023,7	fg	1258,5	efg
p nivel de irrigación (R)	0,0480					
p tratamiento AS (AS)	0,0920					
p R x AS	0,0024					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 10: Rendimiento total (g.pl^{-1}) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	2284,0	a	790,7	b	1011,3	b
Drench 1	2146,3	a	1059,7	b	1264,0	b
Foliar 1	2241,0	a	987,3	b	1186,7	b
Drench 30	2218,3	a	1031,3	b	1082,0	b
Foliar 30	2079,3	a	1162,3	b	1382,0	b
p nivel de irrigación (R)	0,0004					
p tratamiento AS (AS)	0,1020					
p R x AS	0,3150					

Referencias. R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl^{-1} cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.3.2 Rendimiento en frutos de primera categoría comercial

En el 2023, no se encontraron efectos significativos en el rendimiento de primera categoría comercial en respuesta a los factores aplicados de niveles de riego, tratamientos de AS y su interacción. No obstante, se observó una tendencia en el tratamiento sin restricción hídrica (R1) a producir mayores rendimientos en frutos con peso superior a 150 g, independientemente de la forma de aplicación de AS, registrándose el mayor valor de rendimiento en plantas tratadas con AS por Drench 1. También puede señalarse una tendencia a mejorar la producción de frutos de mayor peso en R2, cuando se aplicó AS, con rendimientos que superaron al Testigo en 32 % en promedio (Tabla 11).

En el 2024, el rendimiento de frutos de primera categoría fue modificado por el efecto combinado del nivel de restricción hídrica y el tratamiento de aplicación de AS. Independientemente de la aplicación de AS, la ausencia de restricción hídrica (R1) incrementó significativamente el rendimiento de esta categoría. Considerando la forma de aplicación de AS, se observó que con nivel de riego R1, Foliar 1 fue significativamente mayor en peso en

comparación a los restantes tratamiento; sin observarse diferencias marcadas en R2 y R3 (Tabla 12).

Tabla 11: Rendimiento en frutos de primera categoría comercial (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	756,0	a	85,3	a	337,3	a
Drench 1	1009,4	a	292,4	a	296,0	a
Foliar 1	769,5	a	259,4	a	146,5	a
Drench 30	802,6	a	211,2	a	122,3	a
Foliar 30	704,7	a	297,5	a	189,3	a
p nivel de irrigación (R)	0,117					
p tratamiento AS (AS)	0,421					
p R x AS	0,522					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 12: Rendimiento en frutos de primera categoría comercial (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	515,7	b	159,0	d	150,0	d
Drench 1	552,3	b	150,0	d	165,7	d
Foliar 1	1058,0	a	150,0	d	150,0	d
Drench 30	473,3	bc	192,3	cd	150,0	d
Foliar 30	568,0	b	139,0	d	293,3	bcd
p nivel de irrigación (R)	0,0130					
p tratamiento AS (AS)	0,0033					
p R x AS	0,0003					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.3.3 Rendimiento en frutos de segunda categoría comercial

En el año 2023, el rendimiento de segunda categoría fue modificado significativamente por la interacción entre el nivel de restricción hídrica y la forma de aplicación de AS. El tratamiento sin restricción hídrica (R1) produjo mayores los rendimientos en esta categoría, diferenciándose de R2 en todos los tratamientos de AS, a excepción de la aplicación Foliar 1 y de R3, a excepción del Testigo sin AS. En R2, Foliar 1 produjo el mayor rendimiento, diferenciándose del Testigo y de Foliar 30; mientras que en R3 puede destacarse una tendencia a favor del Testigo y de Drench 1. (Tabla 13).

En el año 2024, el rendimiento de esta categoría comercial respondió significativamente al nivel de irrigación y a la forma de aplicación del AS, sin efecto de la interacción entre factores. Los tratamientos sin restricción hídrica produjeron significativamente más cantidad de frutos con peso entre 100 y 150 g, alcanzando un rendimiento de 1204,5 g.pl⁻¹; mientras que en promedio R2 y R3 rindieron 449,3 g.pl⁻¹. Respecto a la aplicación de AS, los mayores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos Drench 30 (780,1 g.pl⁻¹), Foliar 30 (748,2 g.pl⁻¹) y Drench 1 (732,1 g.pl⁻¹) (Tabla 14).

Tabla 13: Rendimiento en frutos de segunda categoría comercial (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

R AS	R1		R2		R3	
Testigo	1127,1	ab	209,2	f	733,9	bcde
Drench 1	1188,2	a	726,4	bcde	716,6	cde
Foliar 1	1175,2	a	923,4	abcd	583,4	def
Drench 30	1095,4	abc	632,7	de	547,2	def
Foliar 30	886,9	abcd	385,9	ef	564,9	def
p nivel de irrigación (R)	0,0680					
p tratamiento AS (AS)	0,0350					
p R x AS	0,0016					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1 x 10⁻⁴ M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey (p<0,05).

Tabla 14: Rendimiento en frutos de segunda categoría comercial (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	1183,0	a	269,0	c	414,0	c
Drench 1	1389,7	a	308,3	c	510,3	bc
Foliar 1	951,0	ab	389,7	c	515,0	bc
Drench 30	1364,3	a	558,0	bc	418,0	c
Foliar 30	1134,3	a	525,3	bc	585,0	bc
p nivel de irrigación (R)	0,0003					
p tratamiento AS (AS)	0,0240					
p R x AS	0,0570					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.3.4 Rendimiento en frutos de tercera categoría comercial

En los dos años de ensayo, el rendimiento de la tercera categoría comercial fue significativamente modificado por la interacción entre el nivel de irrigación y la forma de aplicación AS.

En 2023, en los tratamientos sin restricción hídrica (R1) o con una restricción intermedia (R3) no hubo diferencias atribuibles a la aplicación de AS; mientras que en R2 los tratamientos Drench 1, Foliar 1 y Drench 30 rindieron significativamente más que el Testigo, a la vez que Drench 1 y Foliar 1 se destacaron sobre Foliar 30. De esta manera, las aplicaciones Drench 1, Foliar 1 y Drench 30 permitieron sostener un nivel de producción equivalente en las tres situaciones de restricción hídrica, en tanto que el Testigo y Foliar 30 redujeron significativamente su nivel de producción en R2 (Tabla 15). En 2024, Drench 1 y Foliar 1 rindieron significativamente menos que el Testigo en R1, sin diferencias entre tratamientos de AS en los otros dos niveles de irrigación (Tabla 16).

Tabla 15: Rendimiento en frutos de tercera categoría comercial (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	556,4	a	302,7	c	639,0	a
Drench 1	581,8	a	594,9	a	524,7	ab
Foliar 1	588,9	a	638,1	a	483,6	abc
Drench 30	537,3	ab	516,8	ab	552,8	ab
Foliar 30	588,1	a	340,3	bc	504,3	abc
p nivel de irrigación (R)	0,5320					
p tratamiento AS (AS)	0,5150					
p R x AS	0,0003					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 16: Rendimiento en frutos de tercera categoría comercial (g.pl⁻¹) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	586,00	a	363,33	ab	448,00	ab
Drench 1	204,67	b	601,33	a	588,33	a
Foliar 1	232,00	b	448,00	ab	521,67	ab
Drench 30	380,67	ab	281,00	ab	514,33	ab
Foliar 30	378,00	ab	498,33	ab	504,00	ab
p nivel de irrigación (R)	0,1360					
p tratamiento AS (AS)	0,1970					
p R x AS	0,0032					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.3.5 Peso medio de frutos

En el 2023 no se encontraron efectos significativos en el peso medio de frutos en respuesta a los niveles de riego, tratamientos de AS o su interacción, aunque puede observarse una tendencia a la obtención de frutos de mayor peso medio en ausencia de restricción hídrica (R1) y particularmente con el tratamiento de AS Drench 1 (Tabla 17).

En el año 2024, el peso medio de los frutos fue modificado por la interacción entre el nivel de irrigación y la forma de aplicación del AS. El peso medio de los frutos fue superior en las plantas sin restricción hídrica (R1). En R1, las plantas tratadas con AS aplicados por Foliar 1 produjeron frutos de mayor peso medio que las Testigo o las tratadas por Drench 30 o Foliar 30, sin diferencias significativas respecto a Drench 1. En R2, se observó una tendencia a la obtención de frutos de mayor peso medio con el tratamiento Drench 30; mientras que en R3 esta respuesta se presentó tanto con Drench 1 como con Drench 30 (Tabla 18).

Tabla 17: Peso medio de fruto (g) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

AS	R		R1		R2		R3	
Testigo	120,2	a	90,7	a	102,5	a		
Drench 1	125,1	a	100,3	a	101,7	a		
Foliar 1	121,7	a	100,9	a	101,0	a		
Drench 30	119,0	a	92,2	a	93,6	a		
Foliar 30	112,6	a	98,2	a	93,7	a		
p nivel de irrigación (R)	0,1390							
p tratamiento AS (AS)	0,3270							
p R x AS	0,8790							

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 18: Peso medio de fruto (g) según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

R	R1		R2		R3	
AS						
Testigo	114,0	bcd	92,7	ef	91,3	ef
Drench 1	126,7	ab	86,0	bc	103,7	de
Foliar 1	141,7	a	101,0	def	95,3	ef
Drench 30	120,3	bc	105,3	cde	96,0	ef
Foliar 30	124,7	b	93,3	ef	103,3	de
p nivel de irrigación (R)	0,0026					
p tratamiento AS (AS)	0,0780					
p R x AS	0,0002					

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.4 Calidad organoléptica

En el año 2023 sólo se observó efecto del tratamiento de aplicación de AS sobre la acidez titulable de los frutos. El Testigo alcanzó en mayor valor, diferenciándose significativamente de Drench 1 y Foliar 1 (Tabla 19).

En el año 2024, el nivel de sólidos solubles totales en fruto fue significativamente modificado por los tratamientos de irrigación y aplicación de AS, sin efecto de la interacción entre factores; mientras que la acidez titulable respondió significativamente únicamente al nivel de irrigación. Las plantas sometidas a mayor nivel de restricción hídrica (R2) produjeron frutos con valores significativamente más elevados de ambas variables, seguidas por las plantas sometidas a R3. Las plantas tratadas con AS Drench 30 alcanzaron los menores valores de sólidos solubles en frutos, diferenciándose significativamente del Testigo, Drench 1 y Foliar 30 (Tabla 20).

Tabla 19: Sólidos solubles totales y acidez titulable según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2023.

Tratamientos		Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez titulable (meq ácido cítrico)
Nivel de irrigación	R1	5,9 A	0,67 A
	R2	5,8 A	0,67 A
	R3	5,9 A	0,69 A
Tratamiento AS	Testigo	6,1 a	0,73 a
	Drench 1	5,5 a	0,63 b
	Foliar 1	5,9 a	0,63 b
	Drench 30	6,0 a	0,70 ab
	Foliar 30	5,8 a	0,67 ab
p nivel de irrigación (R)		0,8738	0,6782
p tratamiento AS (AS)		0,2743	0,0313
p R x AS		0,8036	0,4025

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$): mayúsculas entre tratamientos de nivel de irrigación y minúsculas entre tratamientos de AS.

Tabla 20: Sólidos solubles totales y acidez titulable según nivel de irrigación (R) y tratamiento con ácido salicílico (AS) en tomate cv. Yigido. La Plata, 2024.

Tratamientos		Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez titulable (meq ácido cítrico)
Nivel de irrigación	R1	5,2 C	0,67 B
	R2	7,0 A	0,88 A
	R3	6,2 B	0,78 AB
Tratamiento AS	Testigo	6,5 a	0,82 a
	Drench 1	6,6 a	0,75 a
	Foliar 1	5,9 ab	0,78 a
	Drench 30	5,3 b	0,74 a
	Foliar 30	6,3 a	0,82 a
p nivel de irrigación (R)		0,0015	0,0099
p tratamiento AS (AS)		0,0059	0,2463
p R x AS		0,4086	0,0592

Referencias: R1: riego a capacidad de campo, R2: 60 % del umbral de riego y R3: 40 % del umbral de riego. Testigo: sin aplicación de AS. Drench 1: 1 ml AS pretrasplante al sustrato. Drench 30: Drench 1 + 30 ml.pl⁻¹ cada 30 días. Foliar 1: Aspersión foliar pretrasplante de 1×10^{-4} M de AS. Foliar 30: Foliar 1 + cada 30 días a punto de goteo. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,05$): mayúsculas entre tratamientos de nivel de irrigación y minúsculas entre tratamientos de AS.

8. DISCUSIÓN

8.1 Fenología y precocidad a cosecha

Tanto en 2023 como en 2024, los días transcurridos entre el trasplante y el inicio de las fases reproductivas, así como la acumulación de grados días registrada para cada etapa se encuentran dentro del rango de valores observado por Guaymasí et al. (2018) al evaluar estas variables en dos híbridos de tomate (Elpida y Griffy) trasplantado en agosto, bajo invernadero en La Plata. Asimismo, la cantidad de días a inicio de cosecha, particularmente en 2024, es equivalente a los 72 a 80 días reportada por Suazo Castro et al. (2023) para el híbrido de tomate SVTH 2900 cultivado bajo invernadero en La Plata, realizando el trasplante en el mes de enero. Estas observaciones evidencian que, en las condiciones de ensayo, los cultivos presentaron una respuesta fenológica que puede considerarse normal para la zona. Respecto a la acumulación calórica, las diferencias observadas entre el año 2023 y 2024 pueden haber sido generadas por la mayor temperatura del año 2024 y por la plantación más tardía de ese año, dando como resultado una mayor acumulación térmica, aun cuando los días requeridos para el cumplimiento de las fases haya sido menor.

Respecto a los tratamientos aplicados, los resultados obtenidos en ambos años de ensayo evidencian que tanto la forma como el momento de aplicación del ácido salicílico (AS), junto con el nivel de restricción hídrica, influyen de manera significativa en la fenología y precocidad de cosecha del cultivo de tomate, particularmente bajo condiciones de estrés hídrico moderado (R3). Solo las aplicaciones de AS al trasplante tuvieron un efecto de aumentar la precocidad y mantenerla al nivel de testigo mientras que con mayor cantidad de aplicaciones se observó un retraso en el ingreso a las distintas fases fenológicas. Esto puede deberse a un efecto inhibitorio por la mayor cantidad de aplicaciones y mayor cantidad de AS que recibió la planta durante su ciclo. Este resultado es compatible con los informados por varios autores que encontraron que con mayores concentraciones de AS se pueden observar efectos adversos en las plantas (Hara et al., 2011; Koo et al., 2020; Chakma et al. 2021; Chen et al., 2023).

En términos de manejo agronómico, estos hallazgos indican que una aplicación oportuna y moderada de AS puede ser una herramienta útil para anticipar la cosecha, especialmente en situaciones productivas de menor disponibilidad hídrica, mientras que su uso excesivo o mal sincronizado podría tener efectos contraproducentes.

8.2 Crecimiento e índice de verdor

8.2.1 Altura

Durante el ciclo 2023 no se detectaron diferencias significativas en la altura de las plantas; no obstante, al finalizar el ciclo, el nivel de riego R1 (sin restricción hídrica) mostró plantas con mayor altura en comparación con los demás tratamientos. En 2024, la aplicación de ácido salicílico (AS) resultó en una menor altura en relación con el testigo, aunque, nuevamente el nivel de riego R1 promovió un mayor crecimiento en altura, evidenciando el efecto positivo del agua disponible en este parámetro. Estos resultados no coinciden plenamente con la bibliografía, ya que diversos estudios han reportado efectos variables del AS sobre la altura de las plantas, en función de la dosis, forma de aplicación y condiciones hídricas. Por ejemplo, El-Hady et al. (2021) observaron un incremento de 37,4 cm en la altura de plantas tratadas con 1 mM de AS respecto al testigo, aplicando el tratamiento entre 4 y 5 veces con una frecuencia de 15 días. Por su parte, Rai et al. (2024) encontraron que la restricción hídrica redujo la altura, aunque con aplicaciones de AS a 200 y 250 mg.l⁻¹ se lograron valores similares a los del testigo sin estrés hídrico. Sariñana-Aldaco (2020) reportó incrementos en la altura de planta frente al control al aplicar AS tanto de forma foliar como en la solución nutritiva, utilizando concentraciones entre 0,025 y 0,125 mM. Qadir et al. (2019), trabajando con tres niveles de riego (cada 7, 14 y 21 días), también reportaron incrementos en la altura con aplicaciones de 2,5 mM de AS, independientemente del régimen hídrico. Valdez Sepúlveda et al. (2015) reportaron una diferencia significativa de 3,84 cm en altura con la aplicación de AS 10⁻⁵ M respecto al control. De manera complementaria, Larqué-Saavedra (2010) reportó que una concentración de 1 µM de AS generó el mayor desarrollo de área foliar en comparación con el testigo y con dosis menores, lo cual podría estar relacionado con una mayor capacidad fotosintética y consecuente crecimiento. Finalmente, Faid et al. (2020) reportaron diferencias significativas en altura para tratamientos con 1, 2 y 3 mM de AS frente al testigo. Por otro lado, Chakma et al. (2021) no detectaron diferencias significativas en la interacción entre AS y el nivel de restricción hídrica en el parámetro altura de la planta. Sin embargo, destacaron que el mayor nivel de restricción hídrica mostró la mayor altura bajo ciertas condiciones, y que una aplicación foliar de 150 mg.l⁻¹ de AS incrementó la altura en un 11,9 % respecto al testigo.

La discrepancia observada en la respuesta de la altura de la planta a la aplicación de AS señala la necesidad de poner atención al ajuste de la concentración y momentos de aplicación del AS para evitar impactos adversos sobre el crecimiento.

8.2.2 Diámetro de tallo

La falta de respuesta de diámetro de tallo a la aplicación de AS difiere de lo reportado por Sariñana-Aldaco et al. (2019) quienes encontraron un aumento en el diámetro del tallo frente al testigo mediante aplicaciones foliares o a través de la solución nutritiva, utilizando dosis de AS entre 0,025 y 0,125 mM. De forma similar, Qadir et al. (2019) reportaron un incremento del diámetro con aplicaciones de 2,5 mM de AS, especialmente bajo un régimen de riego cada 7 días. En contraste con estos últimos autores y coincidiendo con los resultados de este trabajo, Valdez Sepúlveda et al. (2015) no encontraron diferencias significativas entre las distintas dosis de AS y el control.

En síntesis, en las condiciones de ensayo, el riego sin restricciones incrementó el diámetro basal del tallo en ambos ciclos, destacando su efecto positivo sobre el crecimiento vegetativo. Las aplicaciones de ácido salicílico no generaron mejoras significativas, lo que sugiere que su efecto sobre este parámetro es limitado o dependiente de condiciones específicas, en concordancia parcial con algunos estudios previos, como los mencionados anteriormente.

8.2.3 Área Foliar

En 2023 se observó una tendencia hacia un aumento del área foliar con la aplicación de AS, aunque los resultados fueron variables según la forma de aplicación y el nivel de riego, sin establecerse un patrón claro de respuesta. Estos resultados coinciden parcialmente con la bibliografía, que destaca el efecto positivo del AS sobre el desarrollo foliar, aunque la magnitud de la respuesta depende de la dosis, momento de aplicación y condiciones de estrés. Por ejemplo, El-Hady et al. (2021) observaron que el tratamiento con 1 mM de AS generó un área foliar 53,8 % mayor que el testigo, mientras que el mayor valor de área foliar se obtuvo con la dosis de 2 mM. Otros autores también han informado efectos positivos del AS sobre el desarrollo foliar. Rai et al. (2024) informó que la restricción hídrica redujo el área foliar, pero con la aplicación de AS en concentraciones de 200 y 250 mg.l⁻¹ se obtuvieron valores similares al testigo sin estrés hídrico. De manera similar, Valdez Sepúlveda et al. (2015) reportaron que el testigo presentó menor área foliar en comparación con los tratamientos con AS, siendo la dosis de 10⁻⁴ M la que generó el mayor desarrollo foliar. Larqué-Saavedra (2010) también observó un incremento significativo en el área foliar con la aplicación de 1 μM de AS en comparación con

el testigo. Por su parte, Chakma et al. (2021) no detectó interacción significativa entre nivel de restricción hídrica y aplicación de AS en cuanto a la altura de las plantas, pero sí observó que tanto el mayor nivel de restricción como la ausencia de restricción hídrica produjeron valores altos de área foliar. Además, con una aplicación foliar de 150 mg.l⁻¹ de AS se logró un incremento del 20,9 % en el área foliar respecto al testigo.

Estos hallazgos subrayan la importancia de ajustar cuidadosamente el manejo del AS, considerando tanto la dosis como el momento de aplicación, especialmente en situaciones productivas de estrés hídrico.

8.2.4 Índice de verdor

Los valores de unidades SPAD registrados para el cultivo, tanto en 2023 como en 2024, coinciden con el rango observado por García Enciso et al. (2018) al evaluar el efecto de la incorporación de elicitors de origen natural sobre el vigor de plantas de tomate. La falta de respuesta a los tratamientos aplicados se contradice con estudios previos que reportan efectos positivos del AS bajo estrés. La respuesta parecería depender de factores como la dosis, el momento de aplicación y el nivel de estrés ambiental. En este sentido, Qadir et al. (2019) encontraron que todas las concentraciones evaluadas de AS (2,5 mM y 5 mM) aumentaron significativamente el contenido de clorofila (SPAD) en plantas sometidas a diferentes regímenes de riego, indicando un efecto favorable del AS sobre este parámetro, independientemente del nivel de estrés hídrico. En un estudio similar, Chakma et al. (2021) no encontraron una interacción significativa entre estrés hídrico y AS sobre el índice de verdor, pero observaron que el mayor nivel de restricción hídrica se asoció a un menor valor de SPAD, mientras que el tratamiento sin estrés presentó el mayor. Además, la aplicación foliar de 150 mg.l⁻¹ de AS resultó en un mayor valor de SPAD respecto al testigo (58,3 vs. 56,7). Asimismo, Hayat et al. (2008) indicaron que el contenido de clorofila en tomate se redujo significativamente bajo estrés hídrico a los 20 y 30 días después de la siembra. Sin embargo, la aplicación de AS logró mitigar esta disminución, mostrando una recuperación parcial a los 20 días y casi completa a los 30 días. Además, en condiciones sin estrés, el tratamiento con AS aumentó el valor SPAD en un 27,5 % respecto al control, sugiriendo que el AS también promueve la acumulación o estabilidad de clorofila en condiciones normales.

8.3 Productividad del cultivo

8.3.1 Rendimiento y peso medio del fruto

Los resultados de este trabajo permiten considerar que la aplicación de AS tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo, particularmente en condiciones de restricción hídrica, lo que coincide con lo observado en diversos estudios. El-Hady et al. (2021) reportaron un aumento del 16 % en el rendimiento total con la aplicación de 1 mM de ácido salicílico, en comparación con el testigo. De forma similar, Larramendi et al. (2008) observaron un incremento del 56 % en el rendimiento con la aplicación de 0,01 mM de ácido salicílico en semillas, en comparación con el control. Por su parte, Sariñana-Aldaco et al. (2020) encontraron mejoras en el rendimiento tanto con aplicaciones foliares como radiculares de ácido salicílico respecto al testigo. En un estudio posterior, Sariñana-Aldaco et al. (2020) determinaron que la dosis de 0,05 mM fue la más eficaz, alcanzando un promedio de 2,60 kg por planta, significativamente superior al testigo (2,17 kg por planta); aunque todas las dosis ensayadas superaron al control. Chakma et al. (2021) observaron mejor rendimiento con una dosis de 150 mg de ácido salicílico por planta, con un aumento del 29 % respecto al testigo. Faïd et al. (2020) registraron diferencias significativas en el rendimiento total y de primicia con aplicaciones de 1, 2 y 3 mM de ácido salicílico, en comparación con el testigo. Los niveles de incrementos observados en la bibliografía son compatibles con los registrados en este trabajo, considerando que en las condiciones de restricción hídrica más restrictiva se obtuvieron incrementos de producción por la aplicación de AS que se ubicaron en el orden del 63 % para el primer año de ensayo y 28 % para el segundo. La fluctuación en la respuesta según ciclo de cultivo fue también registrada por Aires et al. (2022) quienes, en un estudio en condiciones de riego deficitario (70 % del Etc.), encontraron que las concentraciones entre 0,9 y 1,6 mM de AS promovieron aumentos tanto en el rendimiento total como en el rendimiento comercial en dos ciclos consecutivos; observando en el segundo año, que los tratamientos con déficit hídrico combinados con ácido salicílico alcanzaron rendimientos comparables a los del control sin restricción hídrica y sin aplicación de ácido salicílico. En las condiciones de ensayo también se observó un efecto positivo del AS sobre las categorías comerciales de mayor peso de fruto, como primera y segunda, lo que puede estar influido por el efecto del AS sobre el peso medio de los frutos. En concordancia con lo observado en este trabajo, diversos autores encontraron un efecto favorable de la aplicación de AS sobre el tamaño o peso del fruto. Larramendi et al. (2008) observaron aumentos del tamaño medio con distintas dosis de ácido salicílico aplicadas

a la semilla, lo que sugiere un posible efecto regulador temprano del AS sobre la división y expansión celular del fruto. Sariñana-Aldaco et al. (2019) reportaron incrementos del peso medio de fruto tanto con aplicaciones radiculares como foliares en comparación con el testigo. Faid et al. (2020) también encontraron diferencias significativas en el peso del fruto al aplicar ácido salicílico en concentraciones de 1, 2 y 3 mM. Hady et al. (2021) informaron que la aplicación de 1 mM de ácido salicílico incrementó el peso de los frutos en un 30 % respecto al testigo; porcentaje que difiere de los registrados en este trabajo, pero que puede estar explicado por las dosis utilizadas. En este sentido, Qadir et al. (2019) reportó un efecto dependiente de la dosis, con el mayor rendimiento en plantas tratadas con 2,5 mM de ácido salicílico y regadas cada 14 días; mientras que la concentración de 5 mM redujo el rendimiento, indicando la existencia de un umbral de toxicidad o saturación fisiológica. Este efecto podría explicar que, en las condiciones de este trabajo, los tratamientos que consistieron en una única aplicación de AS presentarán, en general, una mejor respuesta.

En resumen, los resultados obtenidos coinciden con numerosos estudios previos que destacan el efecto positivo del ácido salicílico sobre el rendimiento y peso de fruto en condiciones de estrés hídrico, así como la importancia del momento, la dosis y la vía de aplicación. En conjunto, los hallazgos sugieren que la aplicación estratégica de ácido salicílico podría constituir una herramienta útil para mejorar la eficiencia en la producción de tomate, especialmente en escenarios de creciente escasez hídrica.

8.3.2 Calidad organoléptica

La calidad organoléptica de los frutos, evaluada a través de sólidos solubles totales y la acidez titulable, difirió según el año de ensayo, observándose coincidencias parciales con los resultados de otros autores. Chakma et al. (2021) observaron que el mayor nivel de restricción hídrica resultó en un aumento de los sólidos solubles totales, situación que también se registró en el segundo año de ensayo en este trabajo. Qadir et al. (2019), al igual que en este trabajo, observaron independencia entre el nivel de restricción hídrica y la concentración de AS utilizada, aunque reportaron un aumento de sólidos solubles totales con la aplicación de AS, situación que no se registró en las condiciones de ensayo. Respecto al efecto del AS, en concordancia con lo informado por Sariñana-Aldaco et al. (2019), en este trabajo no se encontraron efectos significativos en la acidez titulable ni en el contenido de sólidos solubles que puedan atribuirse a la aplicación de los tratamientos. En contraposición, en un trabajo

posterior, Sariñana-Aldaco (2020) reportaron que una concentración de 0,075 mM incrementó significativamente la cantidad sólidos solubles totales, en concordancia con lo reportado por Chakma et al. (2021) quienes lograron incrementos de esta variable con 200 mg.l⁻¹ de AS y El-Hady et al. (2021), que observaron incrementos del 7 % respecto al testigo con la aplicación de 1 mM de AS. Respecto a la acidez titulable, Larramendi et al. (2008) observaron un aumento de esta variable aplicando distintas dosis de AS en semilla, en comparación con el control; mientras que Qadir et al. (2021) encontraron que una concentración 2,5 mM de AS produjo un incremento significativo en la acidez titulable. Las respuestas observadas en la variación de la acidez titulable en este trabajo, y las divergencias respecto a los resultados de otros autores, puede estar vinculada a las mayores concentraciones utilizadas en otros trabajos, explicando también la tendencia a que las aplicaciones reiteradas realizadas en Drench 30 y Foliar 30 tendieran a mejorar estos valores. En resumen, los resultados del presente trabajo no evidenciaron una mejora sostenida ni una respuesta sistemática de la aplicación de AS sobre la calidad organoléptica de los frutos, a diferencia de lo informado por otros autores. Esto sugiere que la efectividad del AS sobre la calidad del fruto puede estar modulada por factores como la concentración utilizada o condiciones del ambiente, sin manifestarse de manera consistente bajo las condiciones evaluadas.

De esta manera, puede considerarse que la hipótesis planteada se confirma de manera parcial, dado que pudo comprobarse que el uso de ácido salicílico no afectó al crecimiento producción o calidad de fruto, mostrando cierto efecto positivo frente a condiciones de deficiencia hídrica. Sin embargo, no fueron claros que se presentaran efectos diferenciales según forma de aplicación.

10. CONCLUSIONES

En las condiciones de ensayo:

1. La disponibilidad hídrica fue el factor más determinante en la fenología y el crecimiento del cultivo de tomate. El riego sin restricciones (R1) favoreció una floración y fructificación más tempranas, así como un mayor crecimiento en altura, diámetro de tallo y área foliar.
2. Las aplicaciones al trasplante (Drench 1) tendieron a mantener o mejorar la precocidad sin afectar negativamente el crecimiento, mientras que tratamientos más intensivos (Drench 30, Foliar 30) se asociaron con retrasos fenológicos y, en algunos casos, reducción de la altura de planta.
3. La productividad del cultivo se vio significativamente afectada por la disponibilidad hídrica, observándose reducciones en el rendimiento total bajo condiciones de restricción hídrica.
4. La aplicación de AS demostró un efecto mitigador del estrés hídrico, especialmente cuando se aplicó una única vez al momento del trasplante, tanto por vía foliar como radicular.
5. La restricción hídrica afectó de manera negativa el peso medio de los frutos, repercutiendo en la producción de frutos de primera y segunda categoría comercial. Sin restricción hídrica, la aplicación de AS al trasplante por drench o vía foliar mejoró el peso de frutos y su calidad comercial. Con restricción hídrica severa, el AS permitió atenuar pérdidas de rendimiento, particularmente cuando se lo usó por drench al trasplante o aplicación foliar cada 30 días durante el cultivo.
6. La calidad organoléptica de los frutos mostró una respuesta variable frente a la aplicación de ácido salicílico y a los distintos niveles de riego, sin tendencias claras entre años de ensayo ni modificaciones importantes respecto a los valores del testigo.

La aplicación estratégica de ácido salicílico puede constituir una herramienta útil para mitigar los efectos del estrés hídrico en tomate, siempre que se considere cuidadosamente el momento, forma y frecuencia de aplicación, así como el nivel de estrés al que están expuestas las plantas. Su uso, particularmente en etapas tempranas, puede contribuir a mejorar ciertos componentes del rendimiento. Sin embargo, su efectividad en condiciones de estrés hídrico parece estar modulada por otros factores que deben continuar investigando, lo que limita su aplicación generalizada sin un ajuste específico al contexto productivo.

11. BIBLIOGRAFIA

- Aires, E. S., Ferraz, A. K. L., Carvalho, B. L., Teixeira, F. P., Putti, F. F., De Souza, E. P., Rodrigues, J. D., y Ono, E. O. (2022). Foliar application of salicylic acid to mitigate water stress in tomato. *Plants*, 11(13), 1775. <https://doi.org/10.3390/plants11131775>
- Alconada Magliano, M. (2022). Suelo, agua y manejo en producciones intensivas del Gran La Plata (pp. 43–63). En S. B. Martínez, A. V. Carbone y M. Garbi (Coords.), *Producción hortícola periurbana. Aspectos técnicos y laborales*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.
- Allende, M. (2017). Importancia y consideraciones del cultivo de tomate (pp. 11–18). En M. Zolezzi y P. Abarca (Eds.), *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Boletín INIA N° 377. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Instituto de Desarrollo Agropecuario. Santiago, Chile.
- Argerich, C., y Troilo, L. (2011). Diagnóstico socioeconómico del sector hortícola argentino (pp. 11–30). En *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en la cadena del tomate*. FAO. <https://www.fao.org/3/i2440s/i2440s00.pdf>
- Astegiano, E. D., Favaro, J. C., y Bouzo, C. A. (2001). Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 16(2), 249–256.
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (Eds.). (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Barsky, A. (2012). La complejidad territorial de la interfase urbano-rural como soporte para el desarrollo de la agricultura periurbana (pp. 23–28). En M. Mitidieri y G. Corbino (Eds.), *Manual de horticultura periurbana* (1ª ed.). Ediciones INTA.
- Booker, J., Howitt, R., Michelsen, A., y Young, R. (2012). Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Resource Modeling*, 25, 168–218.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443–448.
- Chakma, R., Biswas, A., Saekong, P., Ullah, H., y Datta, A. (2021). Foliar application and seed priming of salicylic acid affect growth, fruit yield, and quality of grape tomato under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 280, 109904.

Chen, S., Zhao, C.-B., Ren, R.-M., y Jiang, J.-H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1141918.

Del Pino, M. (2022). *Guía didáctica: cultivo y manejo del cultivo de tomate fresco*. Cátedra de Horticultura y Floricultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/101136/mod_folder/content/0/Gu%C3%ADa%20de%20Tomate%202022.pdf

Dempsey, D. A., Vlot, A. C., Wildermuth, M. C., y Klessig, D. F. (2011). Salicylic acid biosynthesis and metabolism. *The Arabidopsis Book*, 9, e0156.

Dzib-Ek, G., Villanueva-Couoh, E., Garruña-Hernández, R., Vergara-Yoisura, S., y Larqué-Saavedra, A. (2021). Efecto del ácido salicílico en la germinación y crecimiento radicular del tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 735–740.

El-Hady, N. A. A. A., Elsayed, A. I., El-Saadany, S. S., Deligios, P. A., y Ledda, L. (2021). Exogenous application of foliar salicylic acid and Propolis enhances antioxidant defenses and growth parameters in tomato plants. *Plants*, 10(1), 74.

Faid, H., Alkharpotly, A., Gabal, A., Radwan, F., y Abido, A. (2020). Effect of foliar application with sitofex and salicylic acid on tomato growth, yield and chemical attributes. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 25(2), 196–213.

FAO. (2022). *FAOSTAT: FAO Statistical Databases*. Food & Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., y Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185–212.

Favaro, J. C. (2023). Generalidades (pp. 9–14). En J. C. Favaro (Comp.), *Producción de tomate para mercado fresco*. Ediciones INTA.

Favaro, J. C., y Pacheco, R. M. (2023a). Anatomía y morfología de los órganos involucrados en el manejo (pp. 15–21). En J. C. Favaro (Comp.), *Producción de tomate para mercado fresco*. Ediciones INTA.

Galviz-Fajardo, Y. C., Bortolin, G. S., Deuner, S., Do Amarante, L., Reolon, F., y De Moraes, D. M. (2020). Seed priming with salicylic acid potentiates water restriction-induced effects in tomato seed

germination and early seedling growth. *Journal of Seed Science*, 42.

García Enciso, E. L., Robledo Olivo, A., Benavides Mendoza, A., Solís Gaona, S., y González Morales, S. (2018). Efecto de elicitors de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(spe20), 4212–4221. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.991>

Gharbi, E., Lutts, S., Dailly, H., y Quinet, M. (2018). Comparison between the impacts of two different modes of salicylic acid application on tomato (*Solanum lycopersicum*) responses to salinity. *Plant Signaling & Behavior*, 13(5), e1469361.

Gholami, R., y Zahedi, S. M. (2019). Identifying superior drought-tolerant olive genotypes and their biochemical and physiological responses to various irrigation levels. *Journal of Plant Nutrition*, 42(17), 2057–2069.

Guaymasí, D. V., Garbi, M., Morelli, G., y Martínez, S. (2018). Días y tiempo térmico a floración y fructificación en solanáceas cultivadas en invernadero en La Plata. *Horticultura Argentina*, 37(92), 35–41.

Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., y Miura, K. (2011). Abiotic stress and role of salicylic acid in plants (pp. 235–246). En P. Ahmad y M. N. V. Prasad (Eds.), *Abiotic stress responses in plants: Metabolism, productivity, and sustainability*. Springer.

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., y Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14–25.

Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q., y Ahmad, A. (2008). Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions*, 3(4), 297–304.

Horváth, E., Csiszár, J., Gallé, Á., Poór, P., Szepesi, Á., y Tari, I. (2015). Hardening with salicylic acid induces concentration-dependent changes in abscisic acid biosynthesis of tomato under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 183, 54–63

Jacques, C., Salon, C., Barnard, R. L., Vernoud, V., y Prudent, M. (2021). Drought stress memory at the plant cycle level: A review. *Plants*, 10(9), 1873.

Kaur, G., Tak, Y., y Asthir, B. (2022). Salicylic acid: A key signal molecule ameliorating plant stresses. *Cereal Research Communications*.

- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., y Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 462.
- Koche, D., Gandhi, R., Rathod, S., y Shirsat, R. (2021). An update on role of salicylic acid (SA) in abiotic stress tolerance in crop plants: A review. *AGBIR*, 37(6), 219–225.
- Koo, Y. M., Heo, A. Y., y Choi, H. W. (2020). Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *The Plant Pathology Journal*, 36(1), 1–10.
- Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G., y Popova, L. (2008). Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, 165(9), 920–931.
- Larqué-Saavedra, A., Martín-Mex, R., Nexticap n-Garc z,  ., Vergara-Yoisura, S., y Gutiérrez-Rend n, M. (2010). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 183–187.
- Larramendi, L. R., Matos, Y., Santos, P., y Infante, S. (2008). Crecimiento, floración y fructificación en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L., var. Vyta) provenientes de semillas tratadas con ácido salicílico. *Centro Agrícola*, 35(1), 29–34.
- Latif, F., Ullah, F., Mehmood, S., Khattak, A., Khan, A. U., Khan, S., y Husain, I. (2016). Effects of salicylic acid on growth and accumulation of phenolics in *Zea mays* L. under drought stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 66, 325–332.
- Li, A., Sun, X., y Liu, L. (2022). Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*, 13, 878076.
- Maghsoudi, K., Emam, Y., Ashraf, M., y Arvin, M. J. (2019). Alleviation of field water stress in wheat cultivars by using silicon and salicylic acid applied separately or in combination. *Crop & Pasture Science*, 70(1), 36.
- Magliano Alconada, M., Martínez, S., y Garbi, M. (Eds.). (2018). *Producción intensiva flori-hortícola sustentable en el Gran La Plata*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. https://www.unlp.edu.ar/uploads/docs/produccion_intensiva_flori-horticola_sustentable_en_el_gran_la_plata.pdf
- Martínez, S. B. (2021). *Estudio del efecto de hormonas vegetales en la inducción de la resistencia*

(RI) a *Nacobbus aberrans* en cultivo de tomate. [Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata]. La Plata, Argentina.

Martínez, S. B., Garbi, M., Puig, L., Cap, G. B., y Giménez, D. O. (2021a). Fitohormonas reducen daños por *Nacobbus aberrans* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 37(1), 43–53.

Martínez, S., Garbi, M., Puig, L., y Maiale, S. (2021b). Efectos fisiológicos por el uso de elicitores en tomate cultivado en suelo infestado con *Nacobbus aberrans*. *Horticultura Argentina*, 39(100), 45–54.

Mizuno, I., Arrigo, N., y Svartz, H. (1978). Método rápido para determinación de humedad equivalente. *Octava reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Resúmenes*, 4.

Morales González, P. E., y Gonzáles Hernández, E. R. (2017). *Efecto de las aplicaciones de ácido salicílico en la producción de tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo invernadero en dos localidades del altiplano del Departamento de San Marcos, Guatemala*. <https://hdl.handle.net/11324/23334>

Najafabadi, M. Y., y Ehsanzadeh, P. (2017). Salicylic acid effects on osmoregulation and seed yield in drought-stressed sesame. *Agronomy Journal*, 109(4), 1414–1423.

ONU. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Pacheco, R. M. (2023). Orientaciones para el manejo del cultivo en invernadero (pp. 52–65). En J. C. Favaro (Comp.), *Producción de tomate para mercado fresco*. Ediciones INTA.

Poór, P., Borbély, P., Bódi, N., Bagyánszki, M., y Tari, I. (2019). Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. *Photosynthetica*, 57(2), 367–376.

Porta, H., y Jiménez-Nopala, G. (2019). Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–11.

Qadir, A., Anjum, M. A., Nawaz, A., Ejaz, S., Altaf, M. A., Shahid, R., y Hassan, A. (2019). Growth of cherry tomato in response to salicylic acid and glycinebetaine under water stress condition. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 8(3), 762–775.

Rai, G. K., Magotra, I., Khanday, D. M., Choudhary, S. M., Bhatt, A., Gupta, V., Rai, P. K., y

- Kumar, P. (2024). Boosting drought tolerance in tomatoes through stimulatory action of salicylic acid imparted antioxidant defense mechanisms. *Agronomy*, 14(6), 12–27.
- Ramírez, H., Espinosa-Vázquez, M., González Escobar, J. C., Melendres-Álvarez, A. I., y Zermelo-González, A. (2024). Identificación de auxinas, giberelinas y citocininas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus*). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1).
- Sánchez-García, P., Ordaz-Chaparro, V., Hernández, C., Borges, L., y Colinas-Leon, M. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de Tezontle. *Agrociencia*, 46, 243–254.
- Sariñana-Aldaco, O., Sánchez-Chávez, E., Troyo-Diégez, E., Tapia-Vargas, L. M., Díaz-Pérez, J. C., y Preciado-Rangel, P. (2020). Foliar aspersion of salicylic acid improves nutraceutical quality and fruit yield in tomato. *Agriculture*, 10(10), 482.
- Saxena, R., Kumar, M., Jyoti, A., y Tomar, R. S. (2019). Untapped potential of salicylic acid, jasmonic acid and PGPRs to develop abiotic stress resilience in crop plants. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 13(4), 376–390.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca – Dirección de Producción Agrícola. (2020). *La producción de tomate en Argentina*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-argentina-diciembre-2020.pdf>
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., y Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2), 157–161.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., Bakshi, P., Rehman, A., Kohli, S. K., Khan, E. A., Parihar, R. D., Yuan, H., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., y Zheng, B. (2019). Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: A review. *Journal of Plant Growth Regulation*.
- Sharma, M., Kumar, P., Verma, V., Sharma, R., Bhargava, B., y Irfan, M. (2022). Understanding plant stress memory response for abiotic stress resilience: Molecular insights and prospects. *Plant Physiology and Biochemistry*, 179, 10–24.
- Sharma, P. (2013). Salicylic acid: A novel plant growth regulator—Role in physiological processes and abiotic stresses under changing environments (pp. 939–961). En N. Tuteja y S. S. Gill (Eds.), *Climate change and plant abiotic stress tolerance*. Wiley-VCH.

Sharma, S., Chandra, D., y Sharma, A. K. (2021). Rhizosphere plant–microbe interactions under abiotic stress (pp. 195–207). En V. V. S. R. Gupta y A. K. Sharma (Eds.), *Rhizosphere biology: Interactions between microbes and plants*. Springer.

Singh, B., y Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39(2), 137–141.

Singhal, P., Jan, A. T., Azam, M., y Haq, Q. M. R. (2016). Plant abiotic stress: A prospective strategy of exploiting promoters as alternative to overcome the escalating burden. *Frontiers in Life Science*, 9(1), 52–63.

Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., y Xu, Y. (2023). Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. *Plants*, 12, 3475. <https://doi.org/10.3390/plants12193475>

Souri, M. K., y Tohidloo, G. (2019). Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1).

Stevens, J., Senaratna, T., Dixon, K. W., y Sivasithamparam, K. (2006). Exogenous salicylic acid treatment improves tolerance to salinity stress in tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 49, 77–83.

Suárez, L. C., Fonseca, A. Á., y Ramírez Fernández, R. (2012). Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47–56.

Suazo Castro, B. R., Martínez, S. B., Puig, M. L., Maiale, S. J., y Garbi, M. (2023). Periodo de cosecha y producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado y conducido a más de un eje, bajo invernadero. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 39(1), 23–34. <https://doi.org/10.29393/CHJAA39-3PCBM50003>

Páez Cano, F. C., Fernández Fernández, M. M., Sánchez-Hermosilla López, J., y Rincón Cervera, V. J. (2012). *Bases para la correcta regulación y aplicación de productos fitosanitarios en invernadero mediante sistemas fijos. Tratamiento con pistoleta o lanza*. Consejería de Agricultura y Pesca, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Junta de Andalucía. Almería.

Upreti, K. K., y Sharma, M. (2016). Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance (pp. 19–33). En N. K. S. Rao, K. R. Shivashankara y R. H. Laxman (Eds.), *Abiotic stress physiology of*

horticultural crops. Springer India.

Valdez Sepúlveda, L., González Morales, S., Valdez-Aguilar, L. A., Ramírez-Godina, F., y Benavides-Mendoza, A. (2015). Efecto de la aplicación exógena de ácido benzoico y salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(12), 2331–2343.

Vishwakarma, K., Upadhyay, N., Kumar, N., Yadav, G., Singh, J., Mishra, R. K., Kumar, V., Verma, R., Upadhyay, R. G., Pandey, M., y Sharma, S. (2017). Absciscic acid signaling and abiotic stress tolerance in plants: A review on current knowledge and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 8, 161.

Wani, A. B., Anjum, N. A., y Lone, R. (2017). Salicylic acid to decrease plant stress. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1), 1–26.

Yuan, S., y Lin, H. H. (2008). Minireview: Role of salicylic acid in plant abiotic stress. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 63(5–6), 313–320.

Zhang, D., Zhao, T., Li, J., Jiang, J., Zhang, H., Chen, X., y Xu, X. (2016). Effect of salicylic acid and calcium chloride on physiological characteristics of tomato seedlings under drought stress. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 28(10), 1687–1694.