



Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Agrarias

Licenciatura en Recursos Naturales

Tesina de grado

“Evaluación de una cepa de *Streptomyces* como promotora del crecimiento y potencial biocontroladora de patógenos de *Solanum lycopersicum* L.”

Alumna: Oriana Iacomozzi

Directora: Dra. Ma. Amalia Chiesa

Co-director: Dr. Eduardo Rodríguez

Lugar de trabajo: Laboratorio de Eco-Fisiología Vegetal (LEFIVE)- IICAR

CONICET/UNR- Fac. Cs. Agrarias UNR

Fecha: 15/09/2025

## ÍNDICE

ÍNDICE	1
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	3
ABREVIATURAS	4
PRESENTACIÓN A CONGRESOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Cultivo de tomate y su valor nutricional.	8
1.2 Producción de tomate a nivel mundial y nacional.	8
1.3 Problemáticas actuales en torno a la producción alimentaria.	10
1.4 Factores que afectan el cultivo de tomate.	10
1.5 Factores bióticos.	11
1.6 Desafíos y oportunidades.	13
1.7 Bioinsumos.	13
1.8 Antecedentes del grupo de trabajo.	15
Objetivo General.	17
Objetivos específicos.	17
2. MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1 Material biológico.	18
2.2 Tratamiento general de las semillas.	19
2.3 Análisis del efecto sobre la germinación.	20
2.4 Evaluación de promoción de crecimiento.	20
2.4.1 Parámetros de crecimiento y desarrollo.	22
2.4.2 Rendimiento.	22
2.4.3 Parámetros de calidad de fruto.	23
2.4.4 Peso seco.	24
2.4.5 Preservación de semillas.	24
2.5 Análisis del biocontrol de <i>Streptomyces</i> sp. N2A frente a <i>X. vesicatoria</i> , causante de la MB	25
2.5.1 Inoculación del patógeno.	25
2.5.2 Evaluación de la severidad de la enfermedad.	27
2.5.3 Análisis de la capacidad biocontroladora de <i>Streptomyces</i> sp. N2A en el cultivar UCO/14.	27
2.5.4 Búsqueda de un cultivar susceptible a la enfermedad MB causada por <i>X. vesicatoria</i> .	28
2.5.5 Análisis de la capacidad biocontroladora de <i>Streptomyces</i> sp. N2A en el cultivar OH88119.	28
2.6 Análisis estadísticos.	28
3. RESULTADOS	29
3.1 Análisis del efecto sobre la germinación.	29
3.2 Análisis del efecto de <i>Streptomyces</i> sp. N2A sobre el crecimiento y desarrollo vegetal en plantas de tomate.	30
3.2.1 Evaluación del efecto sobre parámetros de crecimiento y desarrollo.	30
3.2.2 Rendimiento.	31
3.2.3 Parámetros de calidad de fruto.	32

3.2.3.1	Parámetros morfológicos y de calidad de fruto.	33
3.2.3.2	Vida poscosecha.	34
3.3	Análisis del efecto de <i>Streptomyces</i> sp. N2A sobre el control biológico.	35
3.3.1	Análisis de la capacidad biocontroladora de <i>Streptomyces</i> sp. N2A en el cultivar UCO/14.	35
3.3.2	Búsqueda de un cultivar susceptible a la enfermedad MB causada por <i>X. vesicatoria</i> .	37
3.3.3	Análisis de la capacidad biocontroladora de <i>Streptomyces</i> sp. N2A en el cultivar OH88119.	38
4.	DISCUSIÓN	42
4.1	Perspectivas de trabajo	44
5.	CONCLUSIONES	46
6.	BIBLIOGRAFÍA	47

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedicado especialmente a todos aquellos que me acompañaron de cerca en estos años:

A mis papás, que supieron acompañarme desde la elección de la carrera, e hicieron todo lo posible para que cumpliera mi sueño.

A Nico, que ante las buenas y las malas siempre estuvo ahí para motivarme.

A mis abuelos, que con mucho amor me acompañaron siempre prendiendo una velita cuando estaba por rendir y dándome palabras de aliento.

A Amalia, que con calidez y exigencia supo formarme como estudiante y como persona para ser mejor en mi futuro profesional.

*Gracias a la Universidad Nacional de Rosario, y especialmente a mi segunda casa todos estos años: la Facultad de Ciencias Agrarias. Espero seguir aportando todo lo que me dio durante estos años de formación.*

*Gracias a mis directores Amalia y Tato por el acompañamiento en este último tramo de la carrera, y especialmente a Amalia, por la guía y orientación no solo en lo académico sino también en lo personal. Gracias por tus consejos, de a poco los voy llevando a la práctica y serán recordados por siempre.*

*Gracias Rodri por tu bondad al compartir conmigo cada conocimiento y buscar siempre que en cada circunstancia logre aprender algo nuevo.*

*Gracias al Laboratorio de Fisiología Vegetal LEFIVE donde cada día me recibieron con una sonrisa y supieron estar dispuestos a ayudarme en todo momento. Gracias al módulo de Horticultura y el Grupo de Tomate, especialmente a Gustavo que siempre estuvo dispuesto a ayudarme cuando lo necesité.*

*Gracias a mis amigos, que aún sin entender de qué se trataba la carrera, me bancaron en todas y festejaron cada alegría conmigo. Gracias a todos mis facuamigos por hacer que este camino esté colmado de risas y alegrías. Gracias Juli, Fede, Ferra, Dani, Mate, Mahe, Mati y Facu. Su acompañamiento me hizo disfrutar de cada paso. Y especialmente gracias Aye por tu fiel amistad toda la carrera, este logro también te lo dedico a vos porque, sin tu compañía codo a codo, no hubiera llegado hasta acá.*

*Gracias ma, por transmitirme tu amor y pasión hacia la naturaleza. Gracias pa, por no dejar que baje los brazos, y motivarme siempre a ser mejor.*

*Gracias Nico, por tu paciencia, amor y escucha incondicional siempre que lo necesité.*

*Gracias abus, por influenciar mi vocación con sensibilidad y amor hacia todo lo que nos rodea.*

*Gracias Dios, por dejarme ser instrumento del cuidado de nuestra casa común.*

## ABREVIATURAS

°C: Grados Celsius.

ABCPE: Área bajo la curva de progreso de la enfermedad

cm: Centímetro

C: Control

Cv: Cultivar

DO: densidad óptica

Dpi: Días postinoculación

Dps: Días postsiembra

Dpt: Días postrasplante

FLE: Flujo lineal de electrones

g: Gramo

h: Hora

Ha: Hectárea

l: Litro

lb: Libra

MB: Mancha bacteriana

min: Minutos

MTn: Megatoneladas

N2A: *Streptomyces* sp. N2A

nm: Nanómetro

PGPM: Microorganismos promotores del crecimiento vegetal

PGPR: Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Phi2: Eficiencia del fotosistema 2

PS: Peso seco

SPAD: Clorofila.

VPC: Vida Poscosecha

## PRESENTACIÓN A CONGRESOS

Parte de los resultados obtenidos en este trabajo de Tesina se presentaron en:

- Iacomozzi, O.; Maldonado, R. A; Villafañe, D. L.; Rodríguez, G. R.; Rodríguez, E. y Chiesa, M. A. Efecto de la cepa *Streptomyces* sp. N2A sobre el rendimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). IX Jornadas de Ciencia y Tecnología – III Reunión Argentina-Chile 2024. Revista Ciencias Agronómicas - Número 43 (Suplemento). Año 2024. (<https://doi.org/10.35305/agro43.e041>)
- Iacomozzi, O.; Maldonado, R.; Quijano, A.; Rodríguez, G. R.; Rodríguez, E. & Chiesa, M.A. Efecto de la cepa *Streptomyces* sp. N2A sobre el fitness de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) infectadas con *Xanthomonas vesicatoria*. Congreso Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes - CASAFE. Edición Biológicos. 12 de junio de 2025. Rosario, Santa Fe, Argentina.

## RESUMEN

Actualmente el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa un alimento de gran importancia a nivel mundial. Dado que su producción se ve severamente amenazada por limitaciones bióticas y abióticas, la aplicación de microorganismos benéficos del suelo que puedan actuar tanto como bioestimulantes del crecimiento y desarrollo vegetal, así como biocontroladores de distintas enfermedades, surge como una alternativa sostenible. Nuestro grupo de investigación viene trabajando en la identificación y caracterización de cepas del género *Streptomyces* aisladas de la rizosfera de plantas de soja. El objetivo general de este trabajo de tesina fue analizar el efecto de la cepa *Streptomyces* sp. N2A como posible bioestimulante de plantas de tomate y biocontroladora. Para esto se analizó el efecto de la inoculación de semillas con esta cepa en estadios tempranos como la germinación y luego sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate hasta fruto maduro. Como resultado, se observó un efecto positivo sobre la germinación y además sobre el tamaño de los frutos a cosecha, con un incremento del 16 % del rendimiento total. Por otro lado, se evaluó el efecto biocontrolador de *Streptomyces* sp. N2A frente a la Mancha Bacteriana (MB) del tomate causada por *Xanthomonas vesicatoria* y se observó un mejor estado general de aquellas plantas tratadas con la cepa en estudio y posteriormente inoculadas con el patógeno bacteriano, aunque no se detectaron diferencias significativas en los síntomas respecto del control. Estos resultados permitieron demostrar que la cepa *Streptomyces* sp. N2A, la cual fue aislada de raíces de soja, mostró un efecto bioestimulante sobre otros cultivos como el de tomate. El objetivo a largo plazo es desarrollar un bioinsumo para distintos cultivos que se adapte a las prácticas agrícolas actuales tendiendo a la sostenibilidad productiva y reduciendo el uso de agroquímicos.

Palabras clave: Actinobacterias, Biocontrol, Bioestimulante, Mancha bacteriana, Tomate.

## ABSTRACT

Currently, tomato cultivation (*Solanum lycopersicum* L.) is a food of great importance worldwide. Given that its production is severely threatened by biotic and abiotic limitations, the application of beneficial soil microorganisms that can act as both biostimulants for plant growth and development, as well as biocontrol agents for various diseases, emerges as a sustainable alternative. Our research group has been working on the identification and characterization of *Streptomyces* strains isolated from the rhizosphere of soybean plants. The overall objective of this thesis was to analyze the effect of the *Streptomyces* sp. N2A strain as a potential biostimulant and biocontrol agent for tomato plants. To this end, the effect of seed inoculation with this strain was analyzed at early stages, such as germination, and subsequently on the growth and development of tomato plants until fruit maturity. As a result, a positive effect was observed on germination and also on fruit size at harvest, with a 16% increase in total yield. On the other hand, the biocontrol effect of *Streptomyces* sp. N2A against bacterial spot of tomato caused by *Xanthomonas vesicatoria* was evaluated. An improved overall condition was observed in plants treated with the strain under study and subsequently inoculated with the bacterial pathogen, although no significant differences in symptom were detected compared to the control. These results demonstrated that the *Streptomyces* sp. N2A strain, isolated from soybean roots, showed a biostimulant effect on other crops, such as tomatoes. The long-term objective is to develop a bio-input for various crops that adapts to current agricultural practices, promoting sustainable production and reducing the use of agrochemicals.

**Keywords:** Actinobacteria, Biocontrol, Biostimulant, Bacterial spot, Tomato.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Cultivo de tomate y su valor nutricional.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza más importante producida y consumida a nivel mundial después de la papa, y ocupa el séptimo lugar en producción de cultivos a nivel mundial (Siddiq y Uebersax, 2018). Por su gran valor nutritivo y propiedades antioxidantes, el tomate tiene un rol preponderante en la alimentación humana. Es un alimento bioprotector con un rol beneficioso para la salud, por lo que su contribución a la dieta es de suma importancia (Viera et al. 2018).

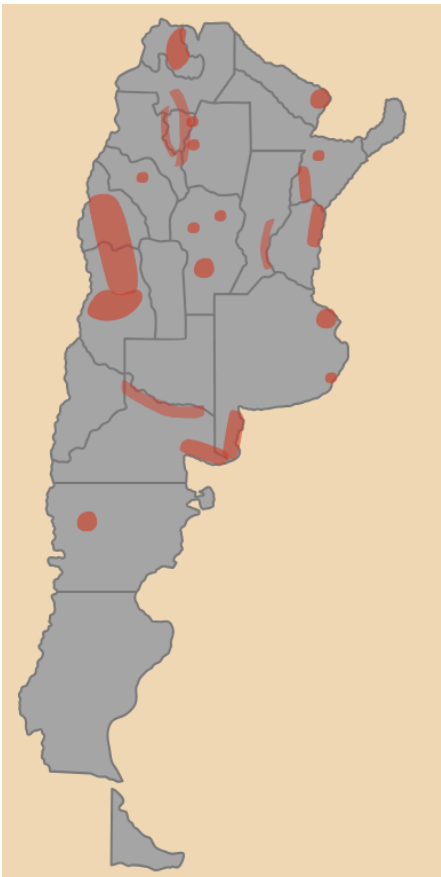
El tomate se consume en diversas formas (fresco o procesado) y representa una fuente de compuestos bioactivos como aminoácidos esenciales (leucina, treonina, valina, histidina, lisina, arginina), potasio, ácidos grasos monoinsaturados (ácidos linoleico y linolénico), vitaminas A, ácido ascórbico (vitamina C), antocianinas y flavonoides, así como carotenoides (licopeno y  $\beta$ -caroteno) y fitoesteroles (Chaudhary et al. 2018; Ali et al. 2021). Los compuestos bioactivos y metabolitos secundarios derivados del tomate tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antialérgicas, antimicrobianas, vasodilatadoras, antitrombóticas, cardioprotectores, y anticancerígenos, entre otras, que se han relacionado con varios beneficios para la salud humana (Abdel-Razek et al. 2025; Ba et al. 2023). La composición nutricional del tomate varía según el cultivar y las condiciones ambientales de cultivo.

## 1.2 Producción de tomate a nivel mundial y nacional.

El cultivo de tomate se produce ampliamente en los trópicos y regiones subtropicales con una producción anual de aproximadamente 192 millones (M) de toneladas (tn) de tomate fresco a nivel mundial en 2023 (FAO, 2023). Actualmente, China es el primer productor de tomate del mundo representando el 31% de la producción total, seguida de India, Turquía y Estados Unidos. Sin embargo, los principales exportadores (en valores) de tomates frescos son México, Países Bajos y España, mientras que entre los importadores se destacan EE. UU., Alemania y Francia. El mercado exportador de tomate para industria es liderado por Italia, China, España y EE.UU.

Argentina posee condiciones agroecológicas propicias para el desarrollo del cultivo de tomate en todo el país con excepción de las provincias de la Patagonia y, en términos de producción global de tomate, Argentina se posiciona en el décimo sexto puesto a nivel internacional. Las principales zonas productoras de tomate son las provincias de Mendoza y San Juan (región de Cuyo) Salta y Jujuy (región NOA), Corrientes y Formosa (NEA), Rio Negro, y Buenos Aires, provincia en la cual se destacan los cinturones hortícolas bonaerense y La Plata, Mar del Plata y Sur de Bs. As. Además, están los cinturones hortícolas que se ubican alrededor de las principales ciudades del país, incluyendo Rosario y Gran Rosario en la provincia de Santa Fe, que también contribuyen al abastecimiento de los centros de consumo que circundan (Fig. 1) (<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-en-argentina-hasta-2021-2022.pdf>).

Incluso nuestro país exporta tomate para consumo en fresco, en pocas cantidades, pero con una tendencia creciente en los últimos años, con destino a países vecinos como Paraguay, Brasil, Chile y Uruguay. Por lo tanto, en nuestro país, este cultivo ocupa una posición destacada en la agricultura, siendo necesario abordar diversos desafíos para garantizar su productividad y calidad.



**Figura 1.** En rojo se marcan las principales zonas productoras de tomate en Argentina. Adaptado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-en-argentina-hasta-2021-2022.pdf>

El consumo del fruto de esta hortaliza es de aproximadamente 16 kg por persona al año, tanto en fresco como procesado como salsas o jugos envasados. Para satisfacer esta demanda, tanto para consumo interno como para exportación, en nuestro país se utilizan 17.000 ha que generan aproximadamente 1 MTn de tomates, de las cuales el 60% se destina a consumo en fresco y el 40% restante para industria (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022).

La producción hortícola de tomate en Argentina se basa en dos modelos según el modo de cultivo. Por un lado, se desarrolla la producción a campo que tiene como principal destino la industrialización de los frutos, pero también se implementan los cultivos en invernaderos cercanos a los centros de consumo principales. Este tipo de cultivo se utiliza en contraestación, según la zona del país, para adelantar la comercialización del tomate antes del verano (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022).

### **1.3 Problemáticas actuales en torno a la producción alimentaria.**

Actualmente se proyecta un incremento poblacional mundial de 8.400 millones de personas para el año 2028, lo que generará una demanda de alimentos, tanto en cantidad como en calidad nutricional, debido al aumento en el consumo de bienes y servicios. Por lo tanto, se proyecta que la producción alimentaria por la agricultura debe crecer un 60% en los próximos 30 años para satisfacer esa demanda a nivel mundial (Starobinsky, 2024). De esta manera, la demanda creciente de tomates y productos derivados ha llevado a un aumento significativo en la producción.

Frente a esta situación, y considerando que se estima que solo el 6% del aumento de la producción agrícola será a través de la expansión del uso de la tierra, el desafío central es una producción agropecuaria más eficiente y sustentable. El buen crecimiento, desarrollo y estado sanitario de las plantas cultivadas son indispensables para aquellos sectores relacionados directamente con la producción, almacenamiento y distribución de productos de origen vegetal (Kirschbaum, 2022).

### **1.4 Factores que afectan el cultivo de tomate.**

Dentro de la producción del tomate, se tienen en cuenta características cualitativas o cuantitativas del fruto dependiendo del destino del producto. Para el mercado del

tomate para consumo fresco, son importantes atributos como el peso del fruto y la vida poscosecha (VPC) (Cambiaso et al. 2019). Las estrategias de mejoramiento para extender la VPC de este fruto dependen de variedades que presentan una maduración tardía o parcial y mayor firmeza en estado maduro, siendo una característica que podría mejorarse (Di Giacomo et al. 2023; 2020; Cambiaso et al. 2019). Además, los productores se enfrentan a desafíos como la gran variabilidad climática, déficit hídrico, estrés térmico, salinización de los suelos y las enfermedades originadas por patógenos de distinto tipo, que afectan la fisiología de las plantas y en consecuencia la productividad y calidad del cultivo y del fruto cosechado. Además, las prácticas agrícolas intensivas han comprometido la salud del suelo y la sostenibilidad a largo plazo (<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-en-argentina-hasta-2021-2022.pdf>).

### **1.5 Factores bióticos.**

Uno de los principales factores limitantes de la producción para cualquier cultivo es el estrés biótico originado por distintos organismos patógenos. La manifestación de enfermedades que afectan el funcionamiento normal de la planta depende de 3 factores que interactúan entre sí: 1) el organismo patógeno, 2) el hospedante susceptible o incapaz de defenderse (la planta), y 3) un ambiente con condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad (Agrios, 2005; Flores et al. 2012; Obregón, 2018).

Existe una gran cantidad de organismos fitopatógenos que afectan el crecimiento adecuado y la productividad de los cultivos de importancia económica (Agrios, 2005). Algunas enfermedades bacterianas o fúngicas suponen una amenaza para las plantas, reduciendo severamente el rendimiento o incluso devastando campos cultivados. De esta manera, resulta imprescindible identificar e implementar estrategias de control a patógenos con el objetivo de disminuir las pérdidas del rendimiento de cultivos que se producen a nivel local y mundial. La gestión integrada de enfermedades es una estrategia fundamental para el control eficaz, que se basa en varias técnicas, desde la utilización de genotipos resistentes hasta el manejo, que intenta reducir al mínimo la aplicación de productos químicos (<https://www.koppert.es/cultivos/hortalizas-bajo-cultivo-prottegido/tomate/>).

Particularmente, el tomate es una de las hortalizas con mayor problemática fitosanitaria, lo que constituye un factor limitante en su producción, siendo afectado

por enfermedades de origen fúngico, bacteriano, viral y causadas por nemátodos que pueden afectar la productividad severamente (Álvarez-Hernández, 2012).

Una de las enfermedades bacterianas de mayor impacto para la producción de tomate es la Mancha Bacteriana (MB), una enfermedad devastadora en el tomate y el pimiento (*Capsicum spp.*), que crece en condiciones de alta temperatura y humedad. La MB es de gran importancia económica porque causa pérdidas significativas de rendimiento y reducción en la calidad de los frutos. La MB es causada por tres especies del género *Xanthomonas*: *X. euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*, *X. euvesicatoria* pv. *perforans*, *X. vesicatoria*, *X. hortorum* pv. *gardneri* (Osdaghi et al. 2021).

El patógeno puede afectar a toda la parte aérea de la planta de tomate, provocando una reducción de la productividad por destrucción del follaje y caída prematura del fruto. Además de los daños indirectos por la pérdida del follaje, cuando la infección es intensa, el rendimiento de cultivo puede verse disminuido hasta un 44% (Osdaghi et al. 2021). La sintomatología puede observarse tanto en hojas como en el fruto, reduciendo la productividad del tomate tanto para el procesamiento industrial como para el mercado de productos frescos. Los campos de producción de tomate pueden verse gravemente afectados por la MB, siendo lugares con condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad (Araújo et al. 2012; Pernezny et al. 2012). En Argentina, la MB se presenta en todas las zonas productoras de tomate, siendo *X. vesicatoria* una de las principales especies detectadas en los lotes (Bianco et al. 2023).

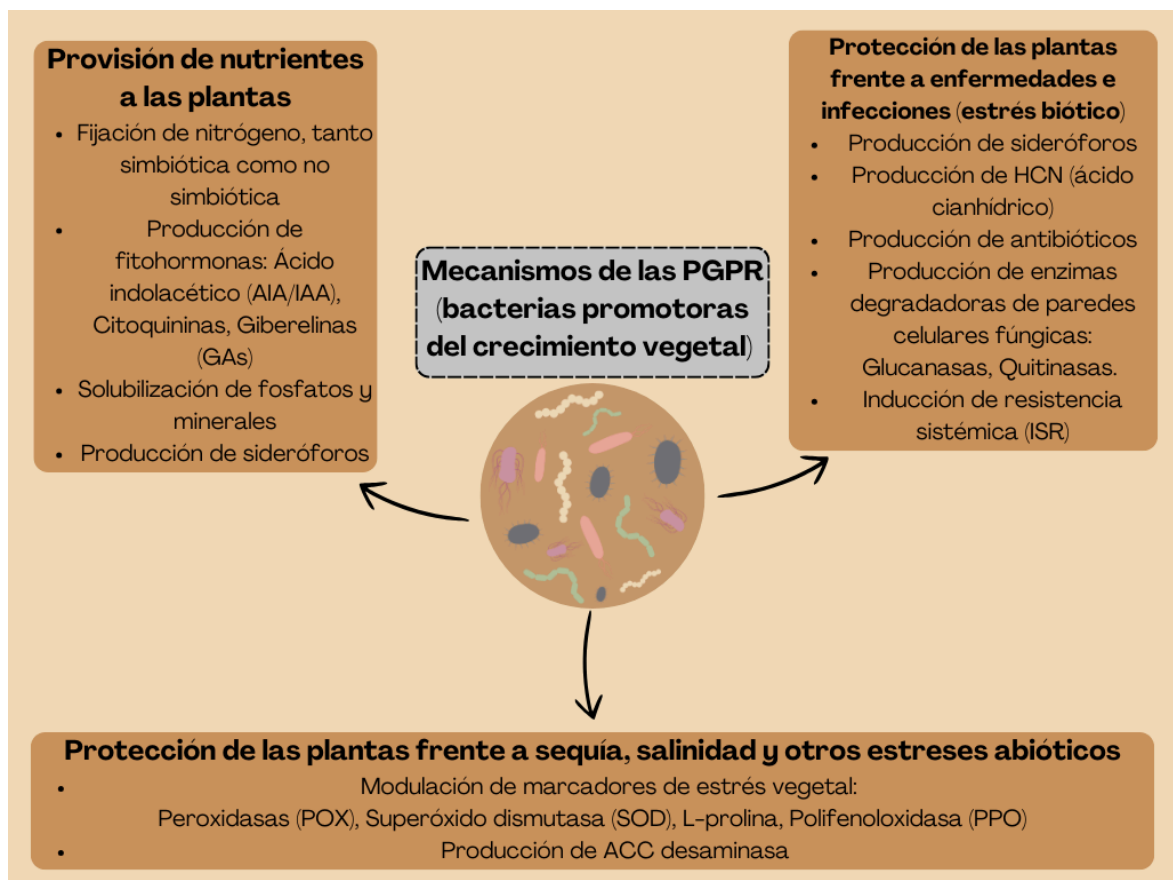
Desafortunadamente, la MB es extremadamente difícil de controlar con éxito cuando se establece en un lote productivo de tomate (Strayer-Scherer et al. 2018), siendo un desafío para la producción de esta hortaliza. A pesar de conocerse genes de resistencia a este patógeno, incluidos *Bs4* (Schornack et al. 2004), *Bs2* (Leister et al. 2005), *Bs3* (Romer et al. 2007), *SIPub24* (Liu et al. 2021) y *Rx4* (Zhang et al. 2021), que confieren resistencia contra el agente causal en tomate y pimiento; generalmente no hay cultivares resistentes disponibles para producción. Por otro lado, el control químico tiene baja efectividad cuando las condiciones son favorables para el desarrollo de la MB y además su uso excesivo ha llevado al desarrollo de cepas de *Xanthomonas* resistentes al cobre (Pernezny et al. 2012; Abbasi y Weselowski, 2015).

## 1.6 Desafíos y oportunidades.

Hoy en día, frente a problemáticas ambientales de dimensión regional, nacional y mundial, los productores tienen la oportunidad de avanzar hacia formas de manejo basadas en el desarrollo y producción sustentables. Partiendo de una economía sostenible, la generación de insumos agropecuarios de origen biológico (bioinsumos) que permiten la utilización de recursos naturales genera una reducción de los impactos ambientales negativos en contraposición con los productos de origen químico (Starobinsky, 2021).

## 1.7 Bioinsumos.

Una alternativa sustentable, que ha mostrado ser efectiva en amplio número de especies vegetales cultivadas, son los productos biológicos compuestos por microorganismos o macroorganismos, o los compuestos o extractos generados por ellos, como promotores del crecimiento vegetal (bioestimulantes) y/o agentes de control biológico (biocontroladores) para prevenir o controlar enfermedades causadas por la infección de patógenos en plantas cultivadas (SENASA, 2023).



**Figura 2.** Diagrama esquemático de los mecanismos de las PGPR. Adaptado de Goswami et al. (2016) y Vurukonda y Stefani (2018).

Los microorganismos PGPR (del inglés *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*) son aquellas bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento vegetal que suponen efectos beneficiosos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos organismos pueden ser endófitos, es decir que viven dentro de los tejidos vegetales o pueden alojarse en la rizosfera, que es el volumen del suelo en proximidad a las raíces (1 a 5 mm) (Goswami et al. 2016). Estas bacterias han sido muy estudiadas por su capacidad de mejorar la productividad agrícola mediante diferentes mecanismos, directos o indirectos, que actuando en sinergia generan beneficios en la planta (Fig. 2).

Los mecanismos directos de las PGPR, que logran una mejora en la provisión de nutrientes a las plantas, contribuyen al crecimiento vegetal. Esto se logra al incrementar la disponibilidad de estas sustancias nutritivas o porque producen otras que influyen de manera positiva. Como se observa en la imagen, las PGPR se caracterizan por la fijación de nitrógeno, tanto simbiótica como no simbiótica, por la solubilización de fosfatos y minerales y por la producción de sideróforos y fitohormonas como ácido indolacético (AIA), citoquininas y giberelinas (GAs). Estos procesos facilitan la absorción de nutrientes esenciales y estimulan el crecimiento de raíces, promoviendo una mayor biomasa vegetal (Ebrahimi-Zarandi et al. 2022; Andrade et al. 2023). Además, los microorganismos PGPR pueden inducir mecanismos de protección en las plantas frente a factores abióticos, mediante la modulación de factores de estrés vegetal que pueden influir, por ejemplo, en la vida poscosecha del fruto de tomate (Marques et al. 2024). Por otro lado, las PGPR estimulan mecanismos indirectos que le dan protección a las plantas frente a estrés biótico como la infección de patógenos o también pueden promover el crecimiento (Newitt et al. 2019). La acción de múltiples mecanismos es común en PGPR logrando así un beneficio para la planta (de Andrade et al. 2023).

Hasta el presente, el desarrollo y uso de bioinoculantes ha sido enfocado principalmente sobre géneros bacterianos promotores de crecimiento de las plantas como ser *Rhizobium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*. Los bioinoculantes más utilizados en la actualidad están basados principalmente en aquellas especies de rizobacterias fijadoras de nitrógeno.

Las actinobacterias, principalmente del género *Streptomyces*, son bacterias Gram positivas del suelo productoras de más de la mitad de los productos naturales de uso

terapéuticos incluyendo importantes antibacterianos y antifúngicos. Por este motivo, estas bacterias han sido ampliamente estudiadas y usadas por las industrias farmacológicas principalmente para la producción de antibióticos, antifúngicos y compuestos de uso terapéutico. Además de producir estos compuestos, las actinobacterias que están presente en la rizósfera, incluso siendo algunas de ellas endofíticas de plantas, ejercen efectos de promoción del crecimiento vegetal de manera directa o indirecta mediante diversos mecanismos tales como producción de fitohormonas (ácido indol acético, aminociclopropano carboxilato), producción de sideróforos, fijación de nitrógeno (principalmente por bacterias del género *Frankia*), solubilización del fosfato y producción de antifúngicos y exoenzimas como quitinasas (Vurukonda y Stefani, 2018). Sin embargo, hasta el presente existen pocos bioinsumos en el mercado formulados a partir de actinobacterias del género *Streptomyces* (Mycostop, Actinovate) (Devi et al. 2022); y en particular ninguno de estos se comercializa en nuestro país. Hasta el presente se han publicado algunos estudios de biocontrol realizados en plantas de tomate que involucran *Streptomyces*, pero se encuentran enfocados en los patógenos *Fusarium oxysporum* (Zheng et al. 2019), *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* (Dias et al. 2017), *Alternaria solani* (Devi et al. 2022) y muy pocos en la interacción tomate-*X. vesicatoria* (Abbasi et al. 2019; Vurukonda et al. 2021; Kawicha et al. 2023).

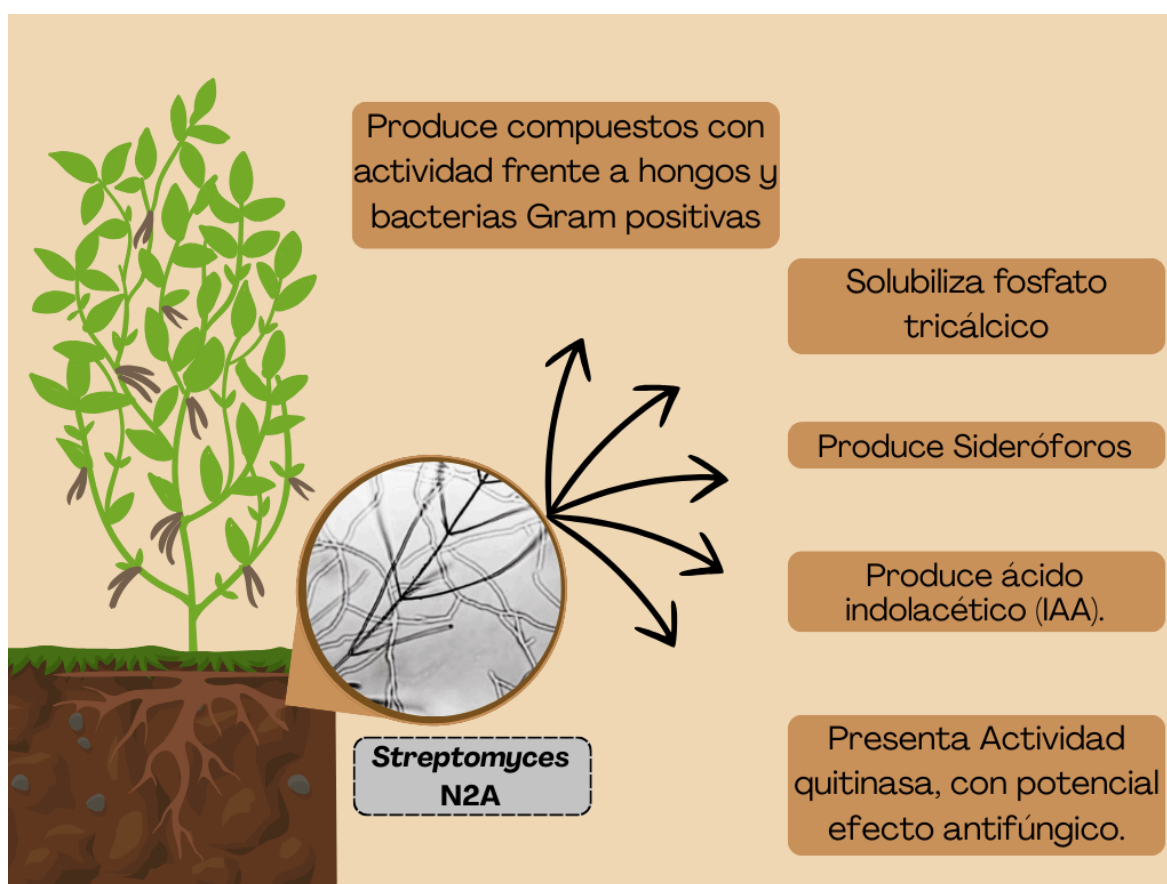
### **1.8 Antecedentes del grupo de trabajo.**

Desde hace unos años nuestro grupo de trabajo viene estudiando cepas del género *Streptomyces* aisladas a partir de plantas de soja donde demostramos la capacidad promoción de crecimiento en plantas de soja y protección del cultivo frente a hongos fitopatógenos (Villafañe et al. 2024; 2025). Estas cepas se seleccionaron en base a su compatibilidad con *Bradyrhizobium japonicum* y distintas propiedades promotoras de crecimiento vegetal como síntesis de fitohormonas, solubilización de fosfato, producción de sideróforos y compuestos con propiedades antifúngicas y antagonismo frente a bacterias Gram positivas (Villafañe et al. 2024).

Se analizó la interacción de la cepa bacteriana con plantas de soja desde la germinación, observando una promoción de parámetros de crecimiento y desarrollo, hasta rendimiento, en condiciones de invernadero y finalmente a campo (Villafañe et al. 2024). Además, se estudió el efecto protector utilizando dos pato-sistemas patógeno fúngico- soja (Villafañe et al. 2025). En estos estudios demostramos al menos dos mecanismos por los cuales estas bacterias protegen a las plantas de

soja, directamente por la producción de antifúngicos e indirectamente induciendo la respuesta de defensa (Fig. 3).

En base a los resultados obtenidos para el cultivo de la soja, tanto como bioestimulantes como biocontroladores de patógenos fúngicos, nos proponemos analizar el efecto del tratamiento con esta bacteria en otro cultivo de interés para la región como lo es el cultivo de tomate. Los resultados del presente trabajo aportarían nuevos conocimientos necesarios para el desarrollo a futuro de bioinsumos a base de estas bacterias y permitirá su potencial transferencia tecnológica para suplir la actual necesidad de reemplazar los fertilizantes y antifúngicos de uso en la producción agrícola, por una herramienta más sustentable.



**Figura 3.** Características *in vitro* de la cepa *Streptomyces* sp. N2A aislada de la rizósfera de plantas de soja (Villafañe et al. 2024).

Por lo tanto, en esta tesina nos planteamos las siguientes hipótesis (H):

H1) El tratamiento de las semillas con una cepa de *Streptomyces* aislada de la rizósfera de plantas de soja promueve el crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos de interés agronómico, como el tomate.

H2) La promoción del crecimiento y desarrollo de plantas de tomate inducida por la cepa de *Streptomyces* mejora la calidad nutricional y vida poscosecha de los frutos de tomate.

H3) El tratamiento de las semillas de tomate con cepa de *Streptomyces* induce un mecanismo de defensa tipo “*priming*” que mejora el desempeño de la planta para la defensa contra un patógeno.

### **Objetivo General.**

El objetivo general de esta tesina es analizar el efecto del tratamiento con la cepa *Streptomyces* sp. N2A sobre parámetros de crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Además, se propone analizar la protección inducida por este tratamiento como agentes de control biológico frente a un patógeno que causa una enfermedad de impacto sobre este cultivo.

### **Objetivos específicos.**

1. Analizar el efecto del tratamiento con la cepa *Streptomyces* sp. N2A como promotora de crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas de tomate desde la germinación de la semilla hasta la cosecha, bajo condiciones de cámara de crecimiento e invernadero.
2. Estudiar el efecto de este tratamiento sobre la calidad nutricional, vida poscosecha y sanidad de los frutos de tomate.
3. Identificar un cultivar de tomate susceptible al patógeno bacteriano *X. vesicatoria*, a partir de la caracterización de un set de cultivares disponibles. Analizar el efecto de la cepa *Streptomyces* sp. N2A como potencial agente de biocontrol frente a *X. vesicatoria*, agente causal de la mancha bacteriana.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Material biológico.

El material biológico utilizado en esta tesina está detallado en la Tabla 1. La cepa de *Streptomyces* sp. N2A, aislada e identificada a partir de estudios genómicos como una nueva especie según Villafañe et al. (2024), fue crecida en el medio de cultivo ISP2 (International *Streptomyces* Project 2: extracto de levadura 4 g/l; extracto de malta 10 g/l; glucosa 4 g/l; agar 15 g/l) (Osato et al. 1955), con agitación constante a 180 rpm en baño termostatzado a 30 °C por 48 h, partiendo de esporas guardadas a -80 °C para la obtención de micelio (Bercovich et al. 2022).

El patógeno bacteriano utilizado para el ensayo de biocontrol, *X. vesicatoria*, fue crecido en el medio de cultivo líquido PYM (peptona-extracto de levadura-extracto de malta): extracto de levadura 3 g/l; extracto de malta 3 g/l; peptona 5 g/l, glucosa 10 g/l, agar 20 g/l (Cadmus et al. 1976), a 28 °C durante 48 h en un agitador a 200 rpm. El principal cultivar de tomate utilizado en esta tesina y sobre el cual se realizaron todos los ensayos es UCO/14 que es un cultivar comercial (para consumo fresco o procesado), de crecimiento indeterminado y fruto tipo perita, desarrollado por INTA La Consulta.

Los 5 cultivares de *Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum*, y el cultivar de *S. pimpinellifolium* que figuran en la tabla fueron utilizados en el análisis de susceptibilidad frente a *X. vesicatoria* (apartado 2.5.4). Estos cultivares fueron seleccionados en base a la ausencia de uno o más genes de resistencia frente a *X. vesicatoria*.

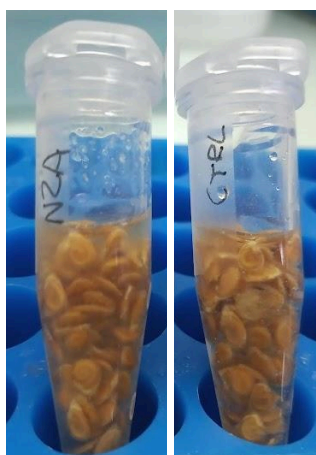
El cultivar OH88119, de origen EE. UU., produce tomates para consumo procesado y es frecuentemente utilizado en cruzamientos como progenitor para el estudio e introducción de genes de resistencia en otras líneas de tomate.

**Tabla 1.** Material biológico utilizado en esta tesina.

Material	Ensayo	Referencia / fuente
Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i> ) cv. UCO/14.	Análisis de germinación, promoción de crecimiento y calidad de fruto, y análisis de biocontrol.	
Tomate ( <i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i> ) cv. Galinas, cv. Caimanta, cv. Alisa Craig y cv. Money Maker. <i>S. pimpinellifolium</i> var. LA0722.	Análisis de susceptibilidad frente a <i>X. vesicatoria</i> .	Cedidos por Dr. Rodríguez G. y Dr. Cambiaso, V. (FCA-UNR).
Tomate ( <i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i> ) cv. OH88119	Análisis de susceptibilidad frente a <i>X. vesicatoria</i> y análisis de biocontrol.	
<i>Streptomyces</i> sp. N2A		Villafañe et al. (2024)
<i>Xanthomonas vesicatoria</i>		Cedido por Dra. Marano M. R. (IBR-Conicet).

## 2.2 Tratamiento general de las semillas.

Para todos los ensayos que se describen en esta tesina, independientemente del cultivar, se realizó el mismo tratamiento de las semillas de tomate con la cepa bacteriana *Streptomyces* sp. N2A. El mismo se realizó utilizando un cultivo con  $10^5$  UFC/ml de la cepa junto con el protector bacteriano PROTEGE TS® (10 ml/50 kg semilla de protector) en proporción 1:1 según Bercovich et al. (2022). Para el tratamiento control (C) se utilizó agua destilada y protector en la misma proporción antes mencionada. Los tratamientos se realizaron en tubos Eppendorf manteniendo las proporciones mencionadas, sumergiendo las semillas durante 1 h y agitando cada 10 min para asegurarse una correcta distribución del inoculante (Fig. 4).



**Figura 4.** Semillas de tomate en tubos Eppendorf sumergidas en el tratamiento correspondiente.

### **2.3 Análisis del efecto sobre la germinación.**

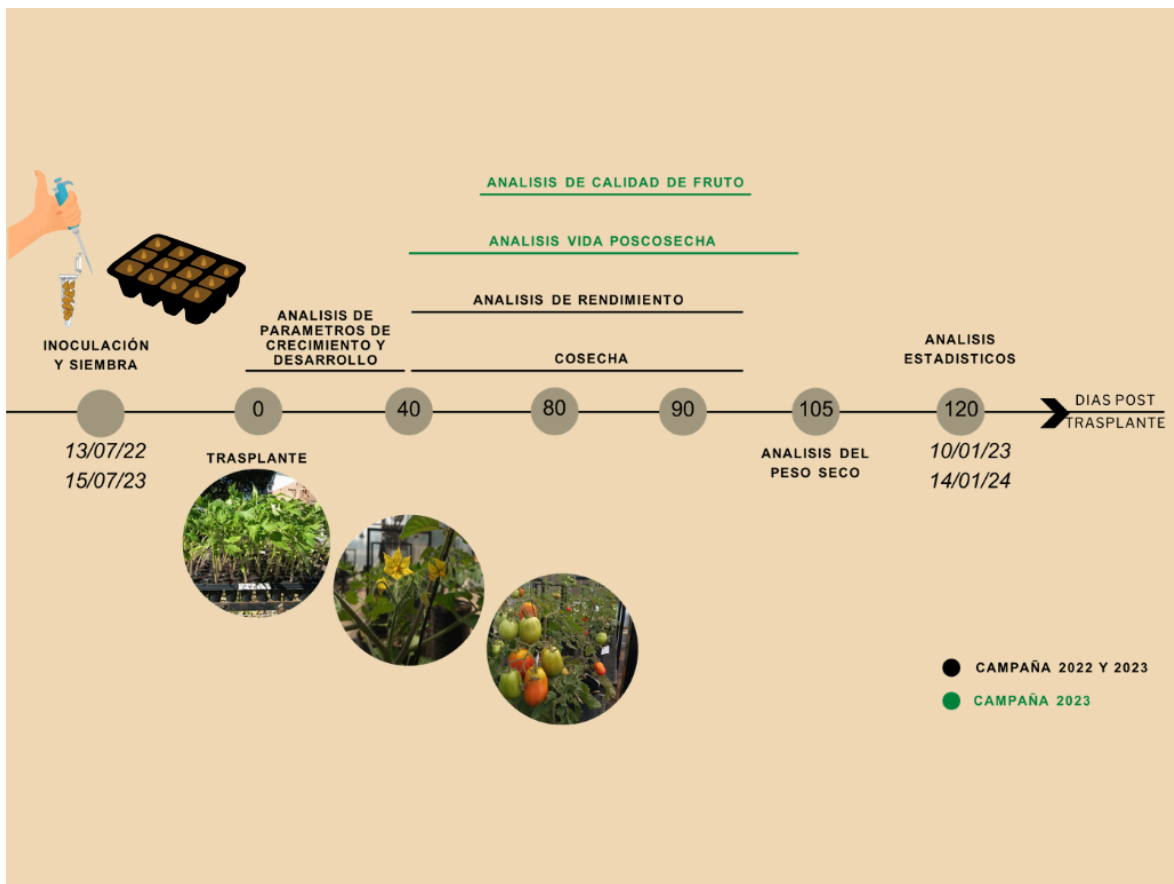
Este ensayo se realizó siguiendo las condiciones estandarizadas establecidas en las reglas ISTA (ISTA 2022). Se utilizaron dos tratamientos, según el apartado 2.2, con un diseño completo al azar utilizando semillas del cv. UCO/14. Para cada tratamiento se tomaron 100 semillas y se distribuyeron en 4 repeticiones, representadas por bandejas plásticas. Sobre cada bandeja plástica que contenía arena humedecida con agua destilada, se sembraron las semillas en 3 filas y se cubrieron con 1-2 cm de arena húmeda sin compactar. Finalmente, las bandejas fueron cubiertas con bolsas de nylon e incubadas en cámara de crecimiento a 27 °C con fotoperiodo de 12 h, durante 14 días.

Para evaluar la germinación de las semillas, se aplicaron las tres categorías definidas por ISTA: plántulas normales (completas, con defectos menores o con infecciones secundarias), plántulas anormales (dañadas, deformadas, desbalanceadas o en estado de pudrición) y semillas no germinadas (duras, frescas o muertas). El porcentaje de germinación (% G) se determinó a partir del N° de semillas que produjeron plántulas normales.

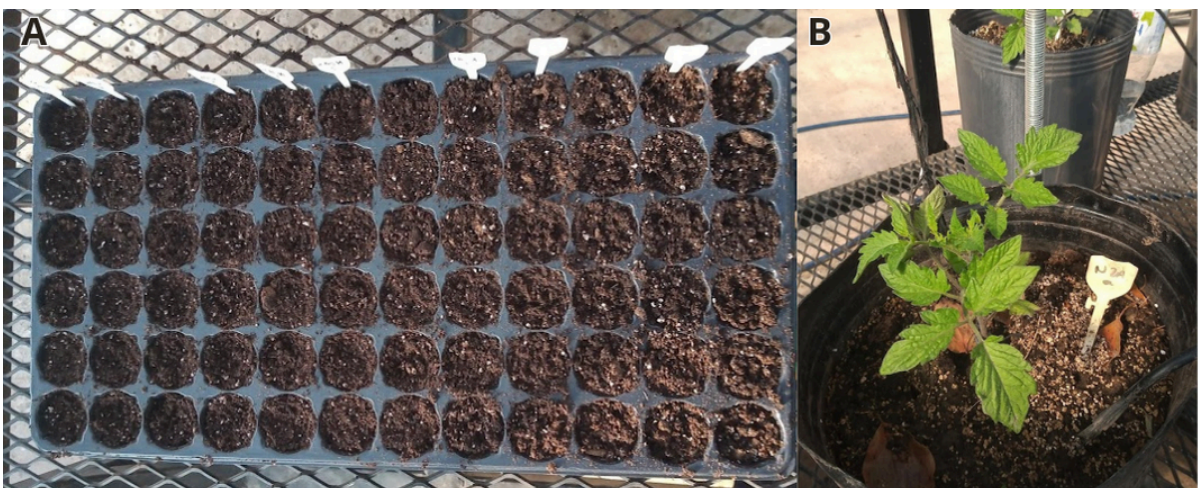
Se realizaron dos réplicas biológicas de este ensayo, utilizando dos lotes de semillas con distintas fechas de origen (lote 1 proveniente de la campaña 21/22 y lote 2, proveniente de la campaña 22/23).

### **2.4 Evaluación de promoción de crecimiento.**

Para este ensayo se utilizó un diseño completamente aleatorizado (n=20) con los tratamientos N2A y C, según el apartado 2.2, utilizando a la planta como unidad experimental (Fig. 5). Se sembraron 40 semillas por tratamiento y a los 40 días se realizó el trasplante, en base a la disponibilidad de espacio en el invernadero, de 20 plantas a macetas de 10 l con mezcla de sustrato orgánico:perlita:tierra (1:1:1). El ensayo se realizó en el invernadero de la sección Horticultura de la FCA-UNR en condiciones controladas ya que la temperatura siempre se mantiene entre los 15° C y 30° C debido al sistema de refrigeración y calefacción, con un fotoperiodo asegurado de 14 h de luz debido a las luces LED complementarias. Se suministró el riego por goteo y se realizó el tutorado correspondiente. Se realizaron dos campañas de este ensayo (2022 y 2023) las cuales tuvieron una duración aproximada de seis meses (Fig. 6).



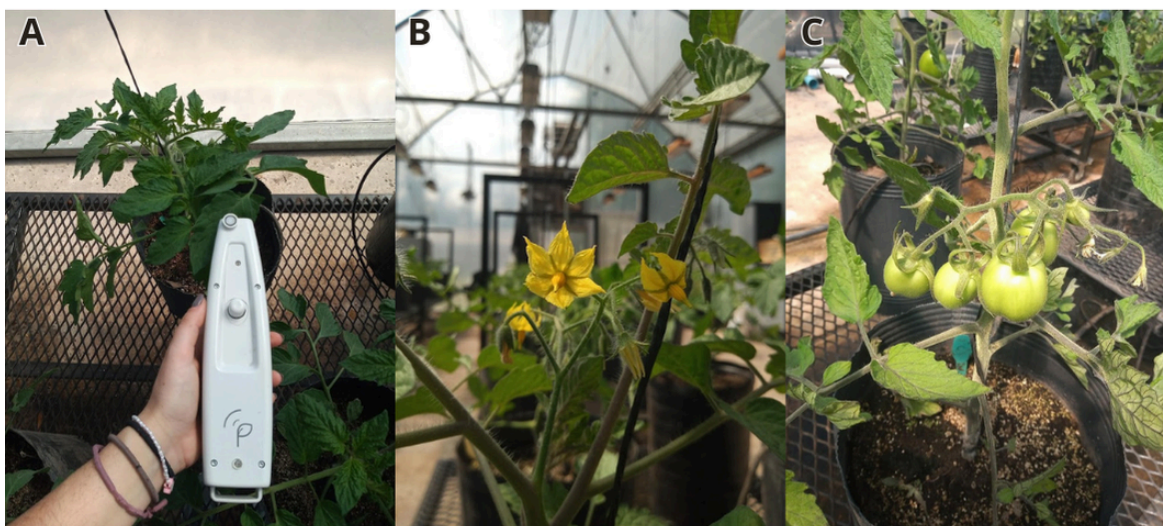
**Figura 5.** Esquema representativo del desarrollo experimental del ensayo. La escala numérica negra representa los días posttrasplante (dpt), y las fechas de inicio y fin corresponden a las dos campañas realizadas. Las semillas fueron inoculadas según el tratamiento descrito en el apartado 2.2, se sembraron y dos meses después fueron trasplantadas. Hasta los 40 dpt se midieron parámetros asociados al crecimiento y desarrollo vegetal en todas las plantas. A partir de la cosecha, se comenzó el análisis de rendimiento y de vida poscosecha. Durante este tiempo se realizaron análisis de calidad de fruto a partir de la cosecha de frutos. Al finalizar la cosecha, se realizó el análisis del peso seco y el tratamiento para conservar las semillas.



**Figura 6.** A) Semillas previamente inoculadas con los tratamientos, indicados por los señaladores plásticos, sembradas en bandeja plástica. B) Plantas de tomate trasplantadas a macetas.

### 2.4.1 Parámetros de crecimiento y desarrollo.

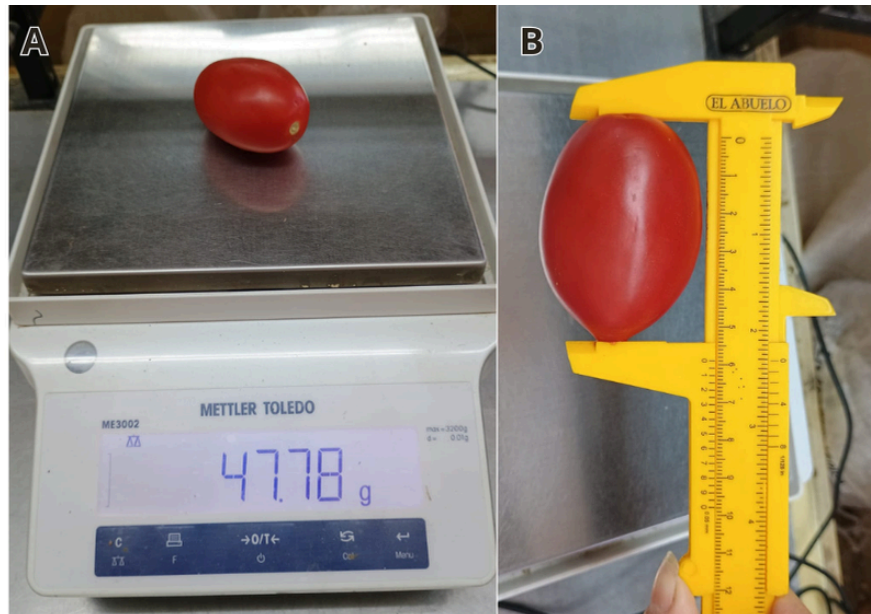
Se evaluó semanalmente y hasta los 40 días postrasplante (dpt) la longitud entre el 2º y 3º nudo, el perímetro basal, medio y apical del tallo, el número (Nº) de flores por inflorescencia y el Nº de flores iniciadas. A comienzos de floración y fructificación se evaluaron los siguientes parámetros fotosintéticos: eficiencia del fotosistema 2 (Phi2), clorofila (SPAD), temperatura y espesor de hoja con el equipo MultispeQ V2.0 (Kuhlgert et al. 2016) (Fig. 7).



**Figura 7.** A) Evaluación de parámetros fotosintéticos sobre hoja de tomate con el instrumento MultispeQ V2.0. B) Plantas de tomate en floración. C) Plantas de tomate en formación de fruto.

### 2.4.2 Rendimiento.

La evaluación del rendimiento se basó en la totalidad de frutos producidos por cada planta de tomate. Se realizó la cosecha en forma escalonada cuando los frutos alcanzaron el estado *pintón*, definido así al momento de presentar un 10 % de la superficie del fruto con el color de madurez según Giovannoni (2004). Cada fruto fue pesado en una balanza analítica y la forma del mismo se determinó a partir del cociente entre la altura y el diámetro medido con un calibre manual. Esto permitió estimar el rendimiento individual por planta y compararlo entre tratamientos (Fig. 8).



**Figura 8.** A) Evaluación del peso de un fruto de tomate con balanza analítica. B) Evaluación de la altura de un fruto de tomate con un calibre manual.

### **2.4.3 Parámetros de calidad de fruto.**

Todos los frutos de cada planta (exceptuando 3 frutos por planta utilizados para el análisis de vida poscosecha), fueron analizados bajo parámetros de calidad y morfología de fruto (Gomez-Bellot et al. 2021) (Tabla 2). Se midió el color de los frutos, y tomando tres lecturas en la zona ecuatorial de cada fruto al utilizar un cromámetro CR 300, se obtuvieron valores del índice  $a/b$ , siendo  $a$  y  $b$  absorbancias a longitud de onda de 540 y 675 nm, respectivamente. Se midió la dureza ( $lb/cm^2$ ) tomándose dos lecturas en la zona ecuatorial de cada fruto con un Durómetro Shore A con una puntera de  $0,10\text{ cm}^2$ . Se realizó un corte transversal a los frutos y con un calibre manual se midió el N° de lóculos y el espesor del pericarpio. Se procesaron los pericarpios de los frutos y se obtuvo el jugo homogeneizado, al que se le midió el pH, los sólidos solubles y la acidez titulable. El contenido de sólidos solubles en °Brix se midió con un refractómetro manual y la acidez titulable fue medida como gramos de ácido cítrico cada 100 g (a partir del volumen de NaOH 0,1 N) que son necesarios para llevar a 8,1 el pH de 2 g de jugo disueltos en 20 ml de agua destilada (Rodríguez et al. 2005).

**Tabla 2:** Parámetros morfológicos y de calidad de fruto y el instrumental utilizado.

Parámetro analizado	Color: a/b	Dureza	Espesor del pericarpio y N° de lóculos	Contenido en sólidos solubles	pH	Acidez titulable
Instrumento	Cromámetro CR 300	Durómetro Shore A	Calibre manual	Refractómetro manual	pH-metro	Bureta, agitador magnético y pH-metro
Imagen						

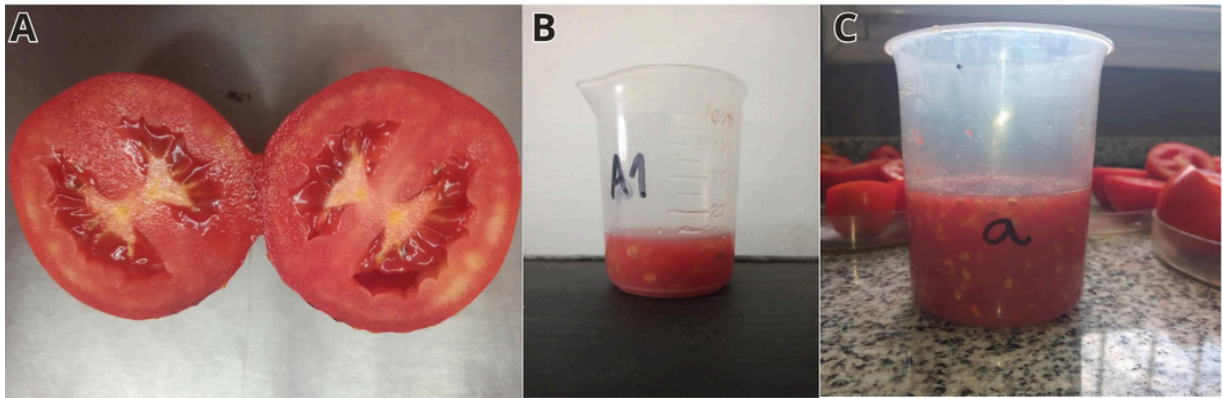
El análisis de la Vida Poscosecha (VPC) o vida útil se realizó estacionando tres frutos por planta en una repisa bajo condiciones controladas de temperatura (25 °C) (Cambiaso et al. 2019). Luego se midió la VPC de cada fruto según los días transcurridos desde la cosecha hasta el deterioro, que se evidencia por síntomas como arrugas y ablandamiento. Se examinaron los frutos cada 3 días y se descartaron los deteriorados, anotando los días de VPC que alcanzaron los frutos de cada tratamiento.

#### 2.4.4 Peso seco.

Al final de la cosecha, se evaluó el peso seco de la parte aérea de cada planta para ambos tratamientos. La parte aérea de cada planta se cortó y se clasificó en tres bolsas de papel independientes separando los folíolos, el tallo principal y las ramas. Luego, las bolsas se dispusieron en una estufa a 70 °C por 72 h y se pesaron en una balanza analítica para obtener el peso seco de cada estructura (folíolos, tallo y ramas), y así calcular el peso seco total de cada planta.

#### 2.4.5 Preservación de semillas.

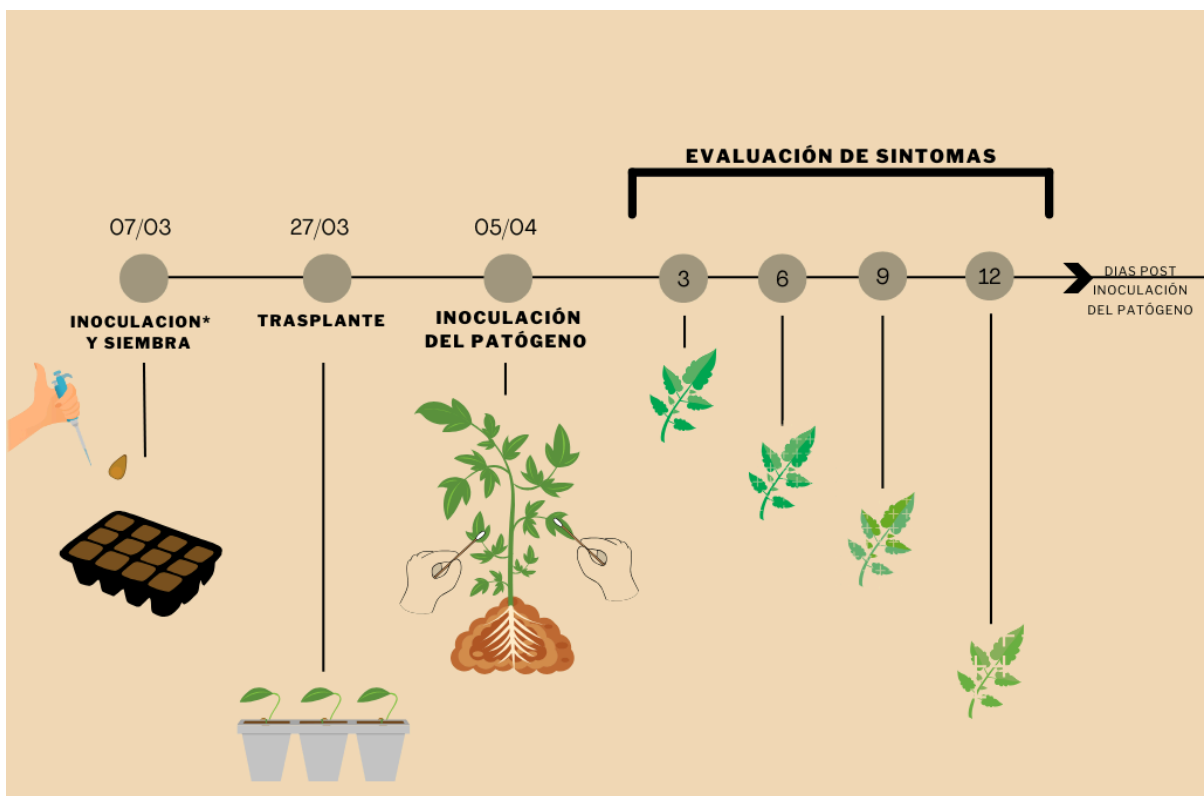
A partir del volumen total (ml) de pulpa que contenía las semillas de cada tratamiento, se agregó un volumen de ácido clorhídrico al 25 % (v/v) por 30 min. Luego las semillas se colectaron con un colador y se suspendieron en 10 ml de fosfato trisódico (TSP) al 10 % (p/v) por 20 min. Se volvieron a colar y se secaron sobre una servilleta de papel para luego ser pesadas y guardadas en sobres etiquetados (Fig. 9).



**Figura 9.** A) Fruto de tomate cortado en mitades. B) Pulpa de un tomate del tratamiento N2A, representado como "A". C) Pulpa de todos los tomates del tratamiento N2A analizados en la primera tanda.

## 2.5 Análisis del biocontrol de *Streptomyces* sp. N2A frente a *X. vesicatoria*, causante de la MB

### 2.5.1 Inoculación del patógeno.

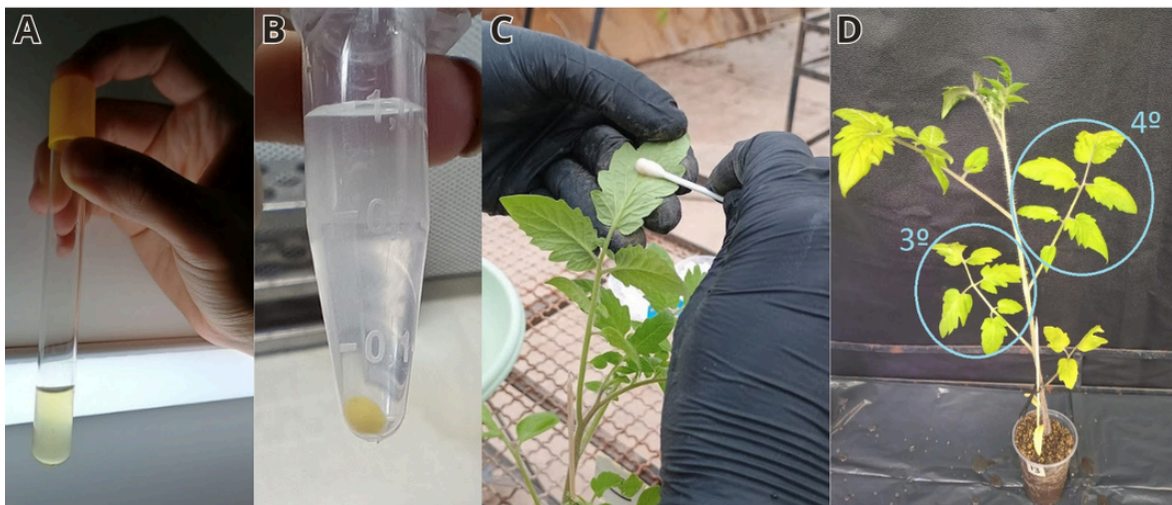


**Figura 10.** Esquema representativo del desarrollo experimental de todos los ensayos de biocontrol en el tiempo. Se realizó la inoculación de semillas para cada tratamiento, luego fueron sembradas y posteriormente trasplantadas a vasos de plástico. Se inoculó el patógeno mediante el hisopado en la 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> hoja alterna totalmente expandidas. A partir de los 3 días postinoculación (dpi), se realizó la evaluación de síntomas.

A continuación, se describe la técnica de inoculación del patógeno utilizado en los ensayos de biocontrol. *X. vesicatoria*, se creció por 48 h en medio líquido (según apartado 2.1) y luego el cultivo se centrifugó por 3 min a 8.000 rpm. Posteriormente, el pellet se resuspendió en 10 mM MgCl<sub>2</sub> ajustando la DO<sub>600nm</sub> a 0,1 mediante espectrofotometría (equivalente a una concentración bacteriana de 10<sup>8</sup> UFC/ml) (Vurukonda et al. 2021) (Fig. 10).

Las plantas de tomate provenientes de los tratamientos N2A y C, fueron crecidas en vasos plásticos de 330 cm<sup>3</sup> por 30 días y se inocularon con *X. vesicatoria* cuando las hojas se encontraron totalmente expandidas según Vurukonda et al. (2021) (Fig. 11). La inoculación de *X. vesicatoria* se realizó a través de hisopado del inóculo en el envés de la 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> hoja alterna de cada planta según Chiesa et al. (2019).

Luego todas las plantas se colocaron en bandejas separadas por la condición (inoculadas y no inoculadas con el patógeno) y según el tratamiento (N2A y C). Según la condición, las bandejas se dispusieron en un ambiente cerrado bajo una cubierta de nylon para controlar la humedad relativa. Las bandejas se mantuvieron dentro del invernadero de la sección Fisiología Vegetal (FCA-UNR) bajo condiciones naturales de fotoperíodo y temperatura (18-35 °C) (Fig. 12).



**Figura 11.** A) Inóculo de *X. vesicatoria* luego de las 48 h de crecimiento en medio de cultivo. B) Cultivo de *X. vesicatoria* luego de sucesivas centrifugaciones y resuspendido en MgCl<sub>2</sub>. C) Inoculación del patógeno a través del hisopado en el envés de la 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> hoja alterna del tomate. D) 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> hojas alternas inoculadas.



**Figura 12.** A) Plántulas de tomate en bandeja de siembra próximas al trasplante. B) Plantas de tomate postrasplante dispuestas en dos bandejas según los tratamientos. C) Plantas en ambiente controlado por nylon.

### 2.5.2 Evaluación de la severidad de la enfermedad.

Se evaluó la severidad de la MB desde los tres y hasta los 24 días postinoculación (dpi) siguiendo una escala descriptiva de síntomas que va de 0 a 4 establecida en Vurukonda et al. (2021):

0 = sin síntomas;

1 = 1 a 10 manchas en 1 a 3 hojas;

2 = 11 a 30 manchas en 4 a 10 hojas;

3 = más de 30 manchas y algo de necrosis confluyente en 5 a 20 hojas;

4 = necrosis confluyente en más de 20 hojas o desecación de ramas.

Además, se analizaron el N° de folíolos con síntomas de cada hoja y el N° de lesiones totales en cada hoja.

### 2.5.3 Análisis de la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A en el cultivar UCO/14.

Siguiendo la técnica descrita en los apartados 2.5.1 y 2.5.2, se realizó el análisis de biocontrol de *Streptomyces* sp. N2A frente a *X. vesicatoria* en el cultivar utilizado para todos los ensayos de germinación y promoción de crecimiento: UCO/14. Se utilizaron 25 plantas por tratamiento que fueron inoculadas con *X. vesicatoria*. Además, como parámetros asociados a crecimiento y desarrollo, se analizaron el N° de nudos en 3 momentos de evaluación (0, 7 y 14 dpi) y la biomasa total al final del ensayo para todas las plantas inoculadas con el patógeno.

#### **2.5.4 Búsqueda de un cultivar susceptible a la enfermedad MB causada por *X. vesicatoria*.**

Con el objetivo de encontrar un genotipo de tomate susceptible frente al patógeno *X. vesicatoria*, se decidió evaluar un set de distintos cultivares disponibles (Tabla 1). Se aplicó el mismo protocolo descrito en los apartados 2.5.1 y 2.5.2, y se realizó un ensayo que incluyó 6 cultivares de *S. lycopersicum* L. y 1 de *S. pimpinellifolium*. Se analizaron 10 plantas de cada genotipo sin tratamiento previo.

#### **2.5.5 Análisis de la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A en el cultivar OH88119.**

A partir de los resultados del ensayo descrito en el apartado 2.5.4, en el que surgió un cultivar susceptible a *X. vesicatoria*, se realizó el ensayo para evaluar la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A frente a dicho patógeno en el cultivar seleccionado. Siguiendo la metodología descrita en el apartado 2.5.1 y 2.5.2, se utilizaron 30 plantas por tratamiento (N2A y C) y por condición (inoculada y no inoculada con *X. vesicatoria*).

Además, durante el ensayo se evaluaron parámetros de crecimiento y desarrollo de las plantas de ambos tratamientos (N2A y C). Para esto, se midió el N° de nudos en el tallo principal, N° de flores totales hasta 18 dpi y N° de frutos totales hasta 27 dpi en todas las plantas. También, como parámetros fotosintéticos, se midieron a 14 dpi eficiencia del fotosistema 2 (Phi2), clorofila (SPAD) y Flujo lineal de electrones (FLE) para cada tratamiento y condición. Al finalizar el ensayo, se evaluó el peso seco de la parte aérea de cada planta, del mismo modo que en los ensayos de promoción de crecimiento, para obtener la biomasa total.

#### **2.6 Análisis estadísticos.**

Los datos obtenidos presentaron una distribución normal debido a un análisis de residuos mediante el test Shapiro-Wilk ( $p > 0.05$ ). De esa manera fueron sometidos a análisis de la varianza (ANOVA) con réplicas/campañas, condiciones y tratamientos como fuentes de variación. Todos los ensayos, excepto el análisis de susceptibilidad (apartado 2.5.4), fueron realizados en un mismo cultivar por lo tanto la variable cultivar no se analizó. Las medias se compararon a través del análisis de mínimas diferencias significativas (LSD). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al. 2020).

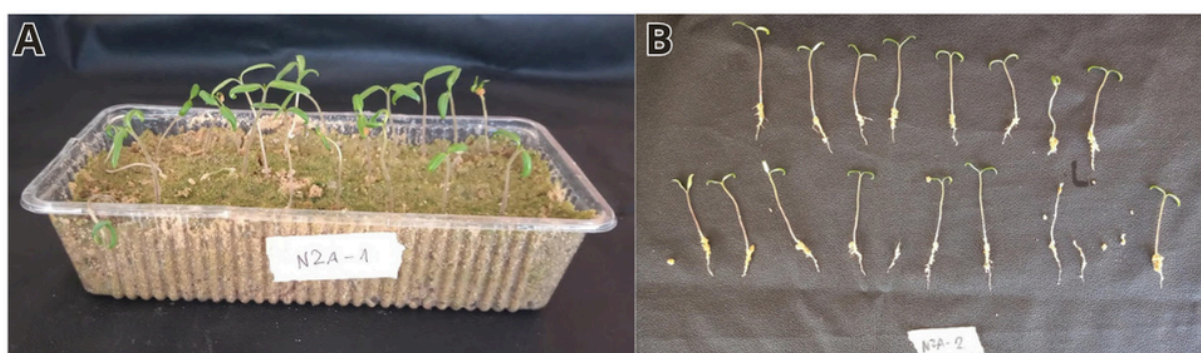
### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Análisis del efecto sobre la germinación.

Con el fin de estudiar el efecto bioestimulante del tratamiento con *Streptomyces* sp. N2A en plantas de tomate (etapa temprana), inicialmente analizamos el efecto del tratamiento bacteriano sobre la germinación de las semillas y formación de plántulas normales. El análisis de los resultados de dos réplicas biológicas mostró diferencias significativas entre las réplicas realizadas, por lo cual se procedió al análisis independiente de cada réplica (Tabla 3).

En la primera réplica, los resultados mostraron que las semillas con el tratamiento N2A presentaron diferencias significativas con respecto al % G, aumentando un 44 % la cantidad de plántulas germinadas y consideradas normales con respecto al C. Esta primera réplica fue realizada con semillas almacenadas de la campaña 21/22, donde se puede observar que los resultados de % G en las semillas con el tratamiento C son significativamente más bajos (Fig. 13).

La segunda réplica del ensayo de germinación, realizada con semillas de la campaña 22/23, mostró que las semillas tratadas con N2A presentaron un % G significativamente mayor al tratamiento C. Mientras que las tratadas con N2A alcanzaron un 80% del % G, el tratamiento C alcanzó un 61 %, lo que se expresa en una diferencia del 21 %.



**Figura 13.** A) Plántulas germinadas provenientes del tratamiento N2A y B) Clasificación de las plántulas provenientes de semillas no germinadas, plántulas normales y anormales.

**Tabla 3.** Parámetros asociados a germinación para cada tratamiento, analizados en dos réplicas biológicas.

Parámetros asociados a germinación		
	Tratamiento	% Germinación
Réplica 1	C	19,00 ± 5,37 b
	N2A	63,00 ± 5,37 a
Réplica 2	C	61,33 ± 6,20 b
	N2A	80,00 ± 6,20 a
C		40,17
N2A		71,50
Tratamiento		**
Réplica		**
Tratamiento*Réplica		*

Los valores representan el promedio de la réplica biológica correspondiente ± EE (error estándar). Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher ( $p < 0,05$ ). \*Diferencias al 0,05. \*\*Diferencias al 0,01.

### 3.2 Análisis del efecto de *Streptomyces* sp. N2A sobre el crecimiento y desarrollo vegetal en plantas de tomate.

Posteriormente, se siguió el análisis de los distintos parámetros vinculados al crecimiento y desarrollo, rendimiento y calidad de los frutos, la VPC y la biomasa acumulada luego de trasplantar las plántulas germinadas a macetas de 10 l.

#### 3.2.1 Evaluación del efecto sobre parámetros de crecimiento y desarrollo.

Para determinar si *Streptomyces* sp. N2A promovía el crecimiento y desarrollo de las plantas en estadio vegetativo y a comienzos del estadio reproductivo, se evaluaron parámetros morfológicos y fotosintéticos de las plantas de tomate en dos campañas (2022 y 2023). Luego del análisis de los resultados, no se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos para la longitud del entrenudo entre el 2° y el 3° nudo y el perímetro basal, medio y apical del tallo. Tampoco se observaron diferencias entre tratamientos sobre el N° de flores totales iniciadas a 30 dpt. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al peso seco total (biomasa) de la planta (Tabla 4).

**Tabla 4.** Parámetros de crecimiento y desarrollo en plantas.

Tratamiento	Parámetro de crecimiento y desarrollo					
	Longitud entrenudos 2°-3° (cm)	Perímetro basal	Perímetro medio	Perímetro apical	N° flores a 30 dpt	Biomasa
C	2,48 ± 0,15 a	3,15 ± 0,11 a	3,07 ± 0,07 a	1,22 ± 0,04 a	13,36 ± 0,46 a	17,39 ± 1,25 a
N2A	2,73 ± 0,15 a	3,01 ± 0,11 a	2,93 ± 0,07 a	1,12 ± 0,04 a	13,39 ± 0,45 a	17,86 ± 1,25 a

Biomasa medida a cosecha, el N° de flores a 30 dpt y los demás parámetros a 40 dpt. Los valores representan el promedio de dos campañas ± EE (error estándar). Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Los resultados del análisis de parámetros fotosintéticos no presentaron diferencias estadísticamente significativas para los parámetros de espesor de hoja, eficiencia en el fotosistema 2 (Phi2), contenido de clorofila (SPAD) y temperatura, en ambos momentos de medición, para los dos tratamientos en cuestión (Tabla 5).

**Tabla 5.** Parámetros fotosintéticos para ambos tratamientos en estadios de floración y formación de frutos.

Tratamiento	Estadio	Parámetros fotosintéticos			
		Espesor de hoja	Temperatura de hoja	Phi2	SPAD
C	Floración	0,54 ± 0,07 a	3,77 ± 1,34 a	0,31 ± 0,02 a	41,06 ± 3,06 a
N2A		0,45 ± 0,07 a	2,55 ± 1,48 a	0,29 ± 0,02 a	37,47 ± 3,18 a
C	Formación de frutos	0,94 ± 0,17 a	3,17 ± 1,37 a	0,02 ± 0,003 a	38,56 ± 1,61 a
N2A		1,22 ± 0,17 a	2,84 ± 1,50 a	0,02 ± 0,003 a	38,41 ± 1,61 a

Los valores representan el promedio de una réplica biológica ± EE (error estándar). Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

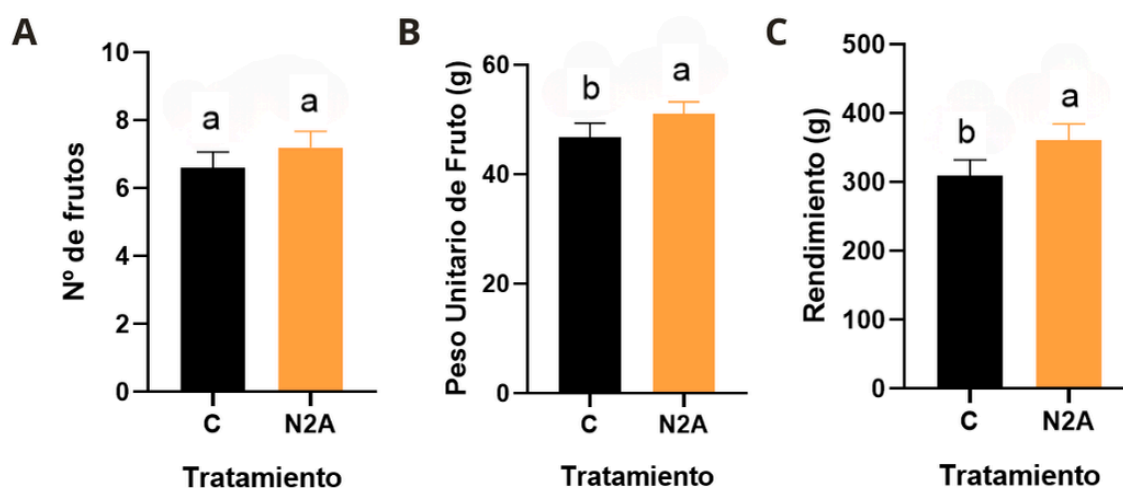
### 3.2.2 Rendimiento.

Luego del análisis de los parámetros de crecimiento y desarrollo, se procedió a cuantificar el rendimiento de las plantas, analizado en dos campañas, mediante la producción total de frutos por planta.

Los resultados de rendimiento fueron consistentes entre campañas ya que no se detectaron diferencias atribuibles a la variabilidad entre el año 2022 y 2023. El análisis de la cantidad de frutos obtenidos por planta no arrojó diferencias significativas entre los dos tratamientos (N2A y C) (Fig. 14-A).

Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas en el peso unitario de frutos, siendo mayor el obtenido de frutos de las plantas tratadas con N2A. Aquellos frutos provenientes del tratamiento bacteriano pesaron en promedio 51,12 g, mientras que los frutos del tratamiento control promediaron los 46,75 g, lo que representa un 9 % de aumento para el tratamiento N2A (Fig. 14-B).

A partir de estos resultados, se calculó el rendimiento (gramos totales por planta) de cada tratamiento y se obtuvo una diferencia significativa en los gramos producidos por planta, siendo mayor el de las plantas que fueron tratadas con N2A. Mientras que las plantas del tratamiento C produjeron en promedio 308,77 g por planta, las plantas con el tratamiento con N2A produjeron 360,45 g de rendimiento por planta, generando un aumento de rendimiento del 16 % (Fig. 14-C).



**Figura 14.** Parámetros asociados a rendimiento. A) N° totales de frutos por planta. B) Peso Unitario de frutos. C) Rendimiento total por planta medido en gramos. Los valores representan el promedio de dos campañas, y se expresan como media  $\pm$  SEM. Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.3 Parámetros de calidad de fruto.

Para profundizar el estudio de los frutos a partir de los resultados de la campaña 2022, al siguiente año se analizaron distintos atributos de calidad del fruto a partir de características fisicoquímicas y morfológicas como tamaño, forma, color, firmeza, acidez y contenido de sólidos solubles, y VPC de los frutos.

### 3.2.3.1 Parámetros morfológicos y de calidad de fruto.

Para analizar de manera detallada la causa o parámetro asociado al mayor peso de los frutos de las plantas del tratamiento con N2A, se midieron parámetros morfológicos y de calidad de los frutos. Se encontraron diferencias significativas en el espesor del pericarpio, siendo éste en promedio un 10 % más grueso en los frutos provenientes del tratamiento N2A. No se observaron diferencias significativas en los parámetros de calidad de fruto de dureza, pH, sólidos solubles, acidez titulable, cantidad de pulpa para los frutos de ambos tratamientos (Fig. 15) (Tabla 6).

**Tabla 6.** Parámetros de calidad de fruto para cada tratamiento (T)

Parámetros asociados a calidad de fruto							
T	Espesor del pericarpio (mm)	Dureza (lb/cm2)	pH	Sólidos Solubles (°Brix)	Acidez Titulable (ml NaCH)	Pulpa (ml)	Peso semillas (g)
C	<b>6,40 ± 0,18 b</b>	51,80 ± 2,09 a	4,62 ± 0,02 a	3,80 ± 0,10 a	4,04 ± 0,12 a	13,08 ± 1,37 a	0,15 ± 0,05 a
N2A	<b>6,92 ± 0,16 a</b>	55,89 ± 1,77 a	4,68 ± 0,03 a	3,62 ± 0,08 a	4,14 ± 0,14 a	12,49 ± 1,07 a	0,13 ± 0,03 a

Los valores representan el promedio de una réplica biológica ± EE (error estándar). Las diferentes letras indican diferencias significativas según LSD test de Fisher ( $p < 0,05$ ).



**Figura 15.** Frutos de tomate por planta de los tratamientos C (A) y N2A (B).

Con respecto a los resultados de los análisis morfológicos de los frutos, si bien entre los tratamientos no difirieron significativamente en el diámetro de los frutos, si mostraron diferencias con respecto a la altura para ambos tratamientos, siendo mayor en el tratamiento N2A (en promedio 4 mm). Esto impacta en la forma del fruto, lo que define que los frutos del tratamiento bacteriano sean de mayor tamaño (Tabla 7).

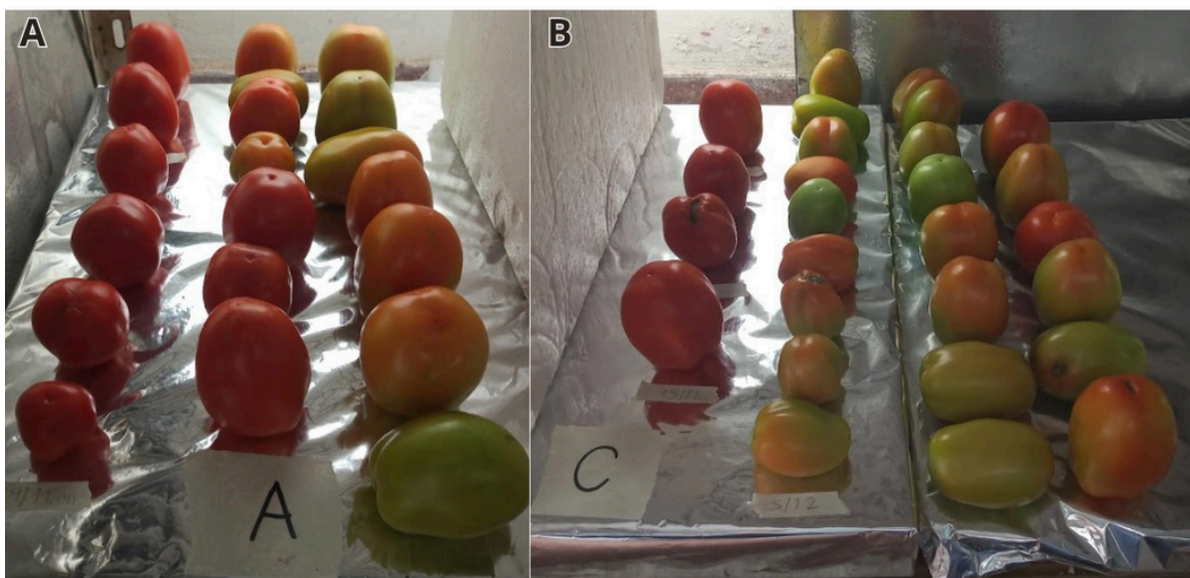
**Tabla 7.** Análisis de la morfología del fruto para cada tratamiento.

Parámetros asociados a morfología de fruto			
Tratamiento	Altura fruto (mm)	Diámetro fruto (mm)	Forma fruto
C	52,02 ± 1,40 b	47,62 ± 1,10 a	1,11 ± 0,03 b
N2A	56,42 ± 1,36 a*	45,04 ± 1,07 a	1,25 ± 0,03 a**

Los valores representan el promedio de una réplica biológica ± EE (error estándar). Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher. \*Diferencias al 0,05. \*\*Diferencias al 0,01.

### 3.2.3.2 Vida poscosecha.

Además, se analizó el tiempo transcurrido hasta el deterioro de los frutos estacionados en una repisa. Este análisis mostró que no había diferencias significativas en cuanto a la VPC de los frutos de tomate analizados; sin embargo, los frutos obtenidos de plantas que recibieron el tratamiento bacteriano tuvieron una media de 30,19 días de vida poscosecha, mientras que los frutos provenientes de las plantas control tuvieron una media de 28,50 días (n=28 frutos analizados) (Fig. 16).



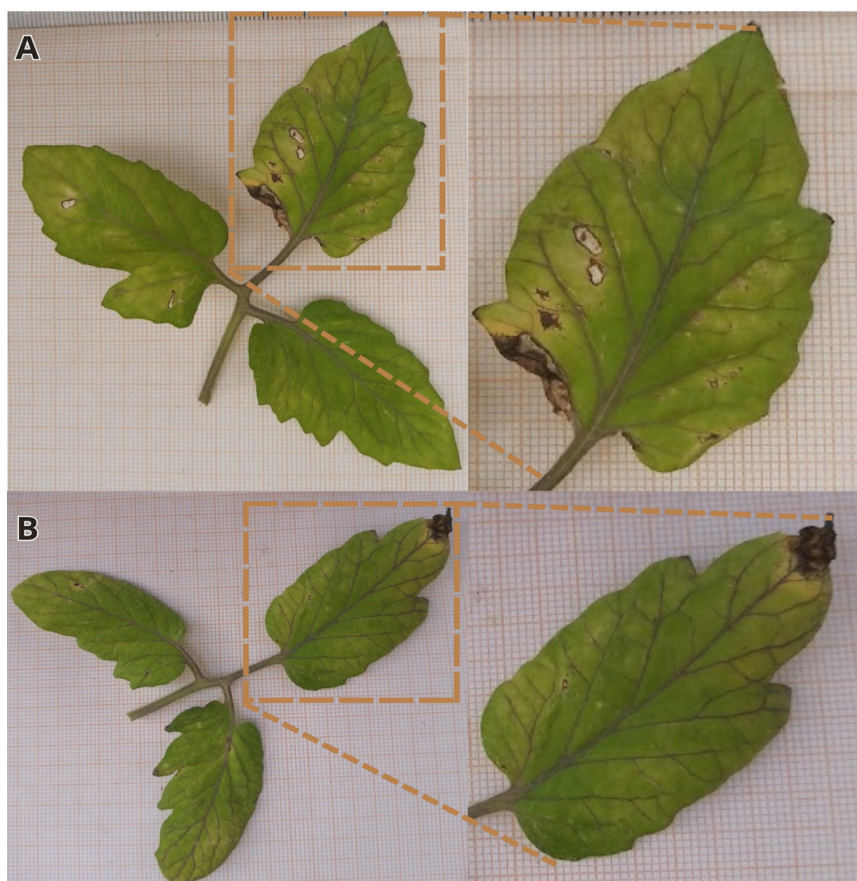
**Figura 16.** Frutos de los tratamientos A) N2A y B) C en repisa identificados con el día de cosecha de cada uno.

### 3.3 Análisis del efecto de *Streptomyces* sp. N2A sobre el control biológico.

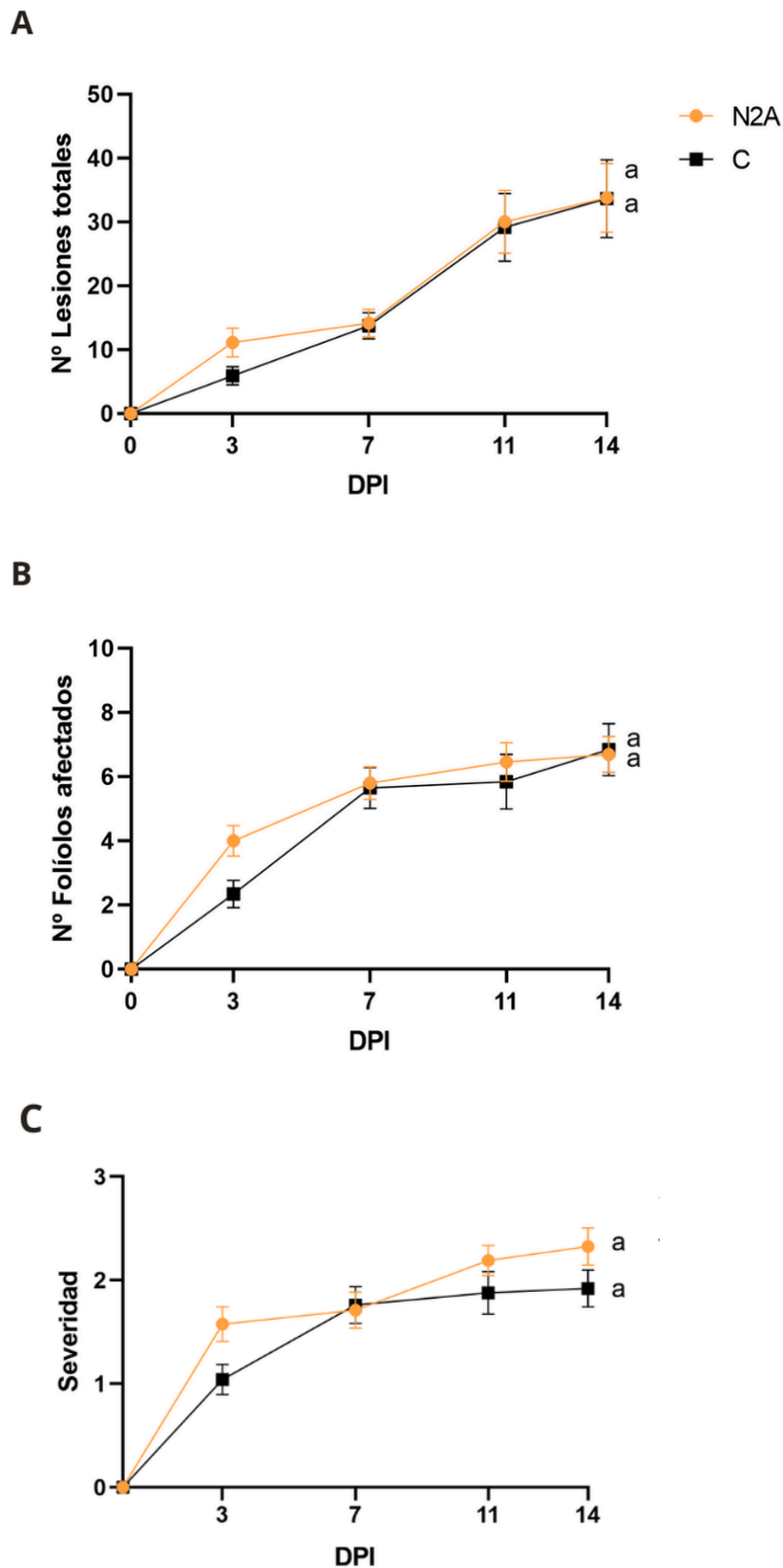
Finalmente, se evaluó la capacidad biocontroladora de la cepa de *Streptomyces* sp. N2A en plantas de tomate frente al patógeno bacteriano *X. vesicatoria*, el agente causal de la enfermedad de la MB.

#### 3.3.1 Análisis de la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A en el cultivar UCO/14.

Luego de haber realizado el ensayo de biocontrol en el cv. UCO/14, y a partir del análisis de las curvas de progreso de los síntomas entre las plantas de ambos tratamientos, se observó que no hubo diferencias en el progreso de la enfermedad entre los tratamientos (Fig. 17). La severidad, el N° de folíolos afectados y la cantidad de lesiones totales en las hojas infectadas evolucionaron hasta 14 dpi de manera similar en plantas de los dos tratamientos (C y N2A) (Fig. 18).

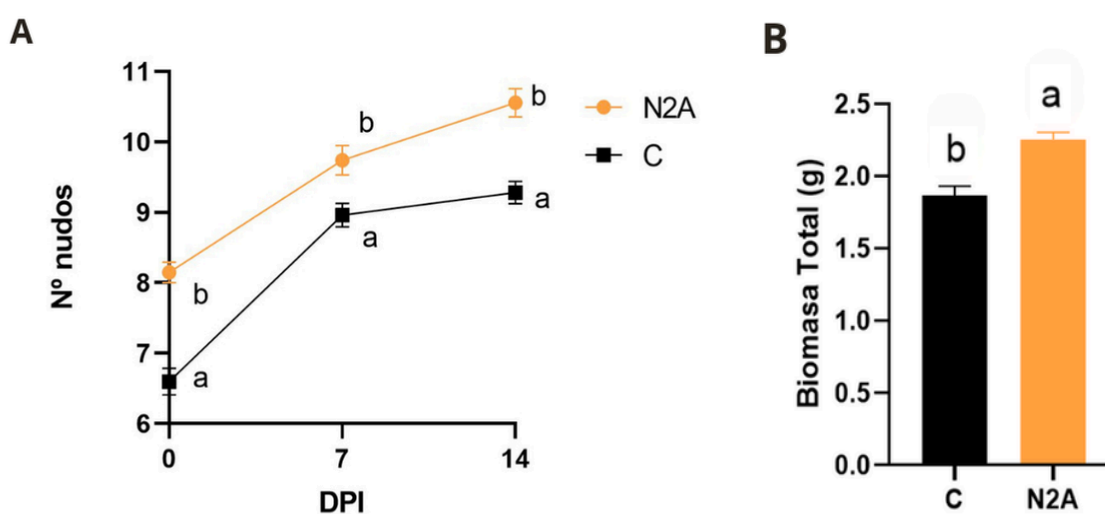


**Figura 17.** Hojas con lesiones en folíolos a 14 dpi, pertenecientes al tratamiento N2A (A) y al tratamiento C (B).



**Figura 18.** Progreso de la enfermedad desde 0 hasta 14 días postinoculación (dpi) para ambos tratamientos según A) Nº de lesiones totales y B) Nº de folíolos afectados analizados en las hojas inoculadas con el patógeno (3º y 4º hoja alterna). C) Severidad en función de la escala de sintomatología. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según LSD test de Fisher ( $p > 0,05$ ).

Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas con respecto al N° de nudos entre ambos tratamientos. Las plantas provenientes del tratamiento con N2A e inoculadas con *X. vesicatoria* presentaron mayor cantidad de nudos en los tres momentos de evaluación, finalizando con un promedio de 10,5 nudos por planta, mientras que el tratamiento C finalizó con un promedio de 9 nudos por planta (Fig. 19-A). Producto de esto, se obtuvo una mayor biomasa total de las plantas correspondientes al tratamiento bacteriano al finalizar el ensayo, con un promedio de 2,3 g por planta. Esta diferencia significativa se contrapone con el tratamiento C que finalizó con un promedio de 1,9 g por planta, lo que se expresa en una diferencia del 21 % (Fig. 19-B).



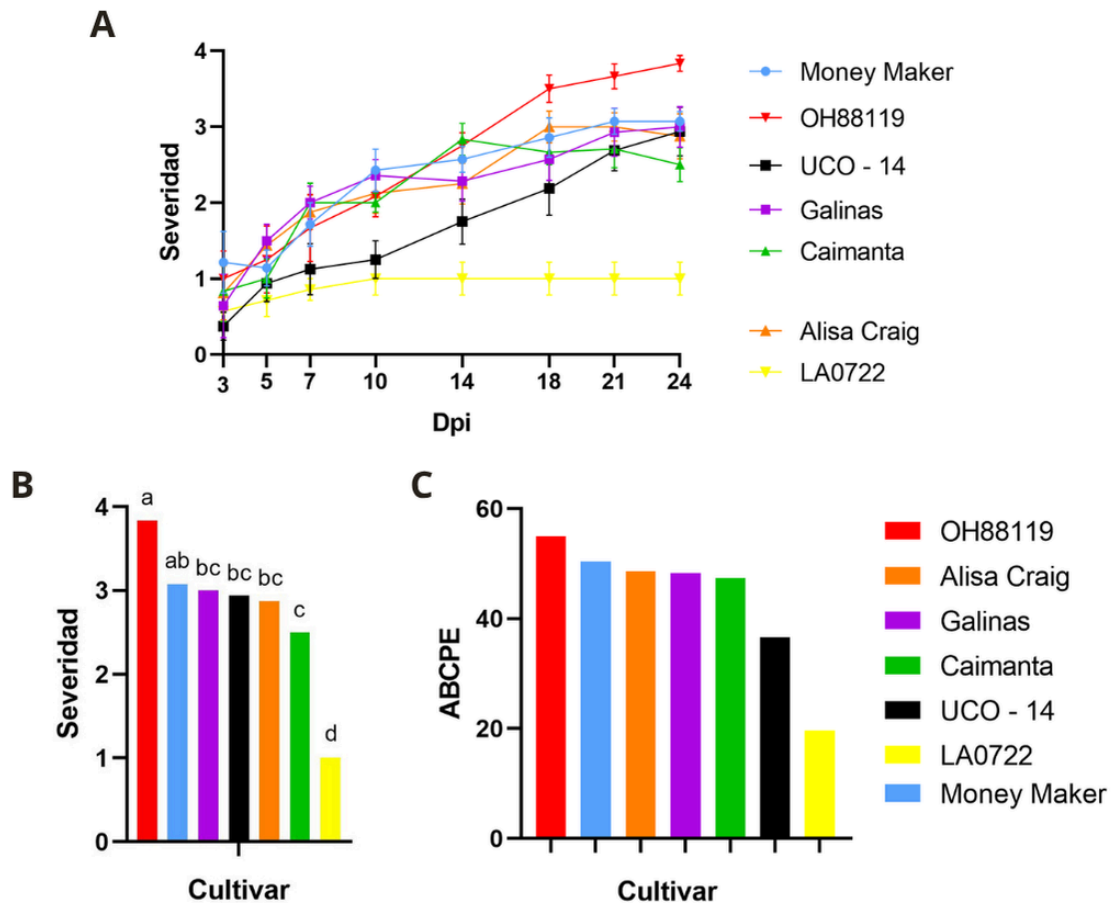
**Figura 19.** A) Progreso del N° de nudos postinoculación con *X. vesicatoria* para ambos tratamientos. B) Biomasa total final de plantas inoculadas con el patógeno de ambos tratamientos. Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 3.3.2 Búsqueda de un cultivar susceptible a la enfermedad MB causada por *X. vesicatoria*.

Como no se observaron diferencias sobre la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A en el cv. UCO/14, se procedió a buscar otros cultivares más susceptibles a *X. vesicatoria*.

A partir de los resultados obtenidos, se analizó el progreso de la enfermedad de la MB basados en la severidad que cada cultivar presentó, según la escala de sintomatología previamente detallada. De esta manera, se pudo identificar un cultivar altamente resistente a la enfermedad como LA0722 que terminó con una severidad final promedio de 1. Luego se determinó que tres cultivares presentaban una susceptibilidad media: Caimanta, Alisa Craig y UCO/14. Estos cultivares

finalizaron con una severidad promedio de 2,5, 2,8 y 2,9 respectivamente. Los cultivares Money Maker y Gallinas dieron como severidad final un promedio de 3. Por último, el cultivar OH88119 mostró una severidad final promedio de 3,8, evidenciando así la mayor susceptibilidad frente al patógeno causante de la MB (Fig. 20).



**Figura 20.** Severidad en función de la escala de sintomatología de la MB causada por *X. vesicatoria* en 7 cultivares distintos entre los 3 y 24 dpi. A) Progreso de la sintomatología típica de la MB en cada cultivar. B) Severidad final que alcanzó cada cultivar a los 24 dpi. C) Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de cada cultivar. Las letras diferentes indican diferencias significativas en el área bajo la curva según LSD Test de Fisher ( $p < 0,05$ ). Los valores se expresan como media  $\pm$  SEM.

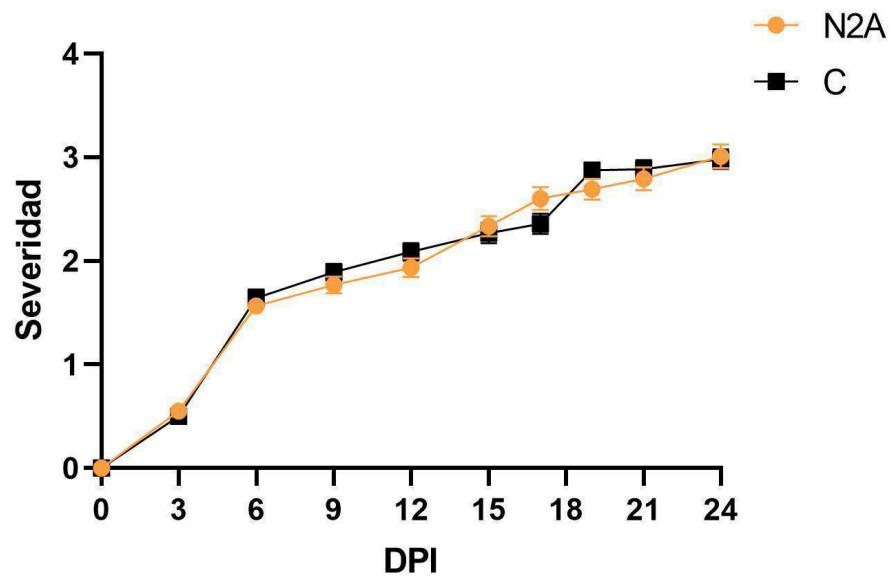
### 3.3.3 Análisis de la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A en el cultivar OH88119.

Una vez identificado el genotipo OH88119 como el más susceptible dentro de los cultivares disponibles, se procedió a evaluar la capacidad biocontroladora de *Streptomyces* sp. N2A frente a *X. vesicatoria* en dicho cultivar (Fig. 21).



**Figura 21.** A) y B) Disposición de plantas de tomate en el invernadero, en bandejas y en una cubierta plástica, diferenciadas por tratamiento y condición.

Al final del ensayo, se observó que no hubo diferencia en el progreso de sintomatología de la enfermedad entre las plantas de ambos tratamientos, N2A y C, alcanzando una severidad promedio de 3 en ambos casos (Fig. 22).



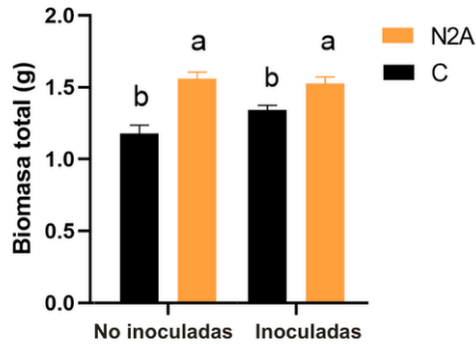
**Figura 22.** Progreso de la severidad en función de la escala de sintomatología para ambos tratamientos de 0 a 24 dpi. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según LSD test de Fisher ( $p > 0,05$ ).

Nuevamente se observó que las plantas tratadas con N2A presentaron una mejora significativa en los parámetros asociados al crecimiento y desarrollo, independientemente de la condición. Las plantas provenientes de los tratamientos con N2A, tanto en condición inoculada como no inoculada con *X. vesicatoria*, presentaron mayor N° de nudos, mayor N° de flores, y mayor N° de frutos con respecto a las plantas pertenecientes al C inoculado y no inoculado con *X. vesicatoria* (Tabla 8). Se observan diferencias significativas en estos parámetros, menos en el N° de frutos de las plantas inoculadas por el patógeno. Por lo tanto, se observaron diferencias significativas en la biomasa total siendo mayor para las plantas que recibieron el tratamiento N2A (Fig. 23).

**Tabla 8.** Análisis del crecimiento y desarrollo en plantas de ambos tratamientos y condiciones en el cv. OH88119.

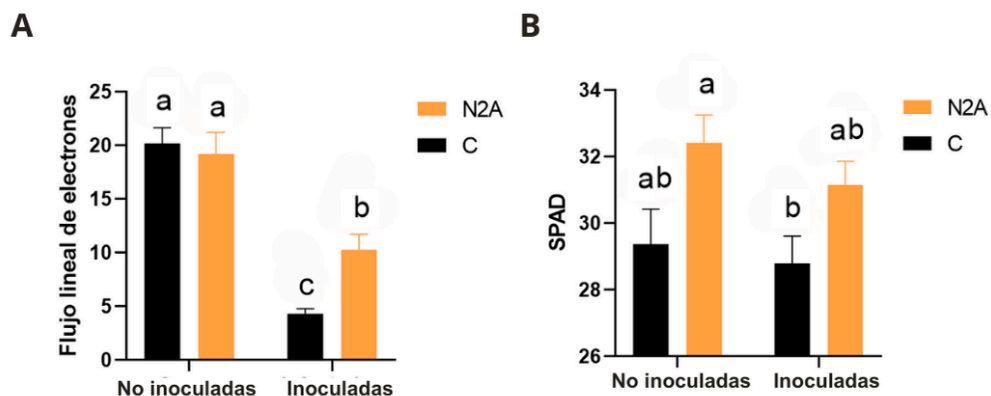
Parámetros asociados al crecimiento y desarrollo				
Condición	Tratamiento	N° de nudos	N° de flores	N° de frutos
Inoculadas	C	10,33 ± 0,17 bc	5,67 ± 0,37 b	1,03 ± 0,37 c
	N2A	11,07 ± 0,17 a	7,40 ± 0,37 a	1,93 ± 0,37 bc
No inoculadas	C	9,89 ± 0,23 c	5,63 ± 0,47 b	2,67 ± 0,48 b
	N2A	10,72 ± 0,23 ab	8,24 ± 0,49 a	5,11 ± 0,48 a
Tratamiento		***	***	***
Condición		*	ns	***
Tratamiento* condición		ns	ns	*

Los parámetros N° de nudos, N° de flores y N° de frutos fueron medidos a 18, 21 y 27 dpi, respectivamente. Los valores representan el promedio de una réplica biológica ± EE (error estándar). Las letras diferentes indican diferencias significativas según LSD test de Fisher. \*Diferencias al 0,1. \*\*Diferencias al 0,05. \*\*\*Diferencias al 0,01.



**Figura 23.** Biomasa total a 27 dpi para ambas condiciones. Letras distintas indican diferencias significativas en el área bajo la curva según LSD Test de Fisher ( $p < 0,05$ ). Los valores se expresan como media  $\pm$  SEM.

Con respecto a los parámetros fotosintéticos medidos a 14 dpi se observaron diferencias significativas para el Flujo lineal de electrones y SPAD, aunque no se encontraron diferencias entre tratamientos para Phi2. En el caso de Flujo lineal de electrones se observaron diferencias significativas en las plantas inoculadas con *X. vesicatoria*, alcanzando mayores valores en plantas que recibieron el tratamiento N2A que alcanzó en promedio 10,3, mientras que en plantas control, el valor fue de 4,3. No se encontraron diferencias para este mismo parámetro en aquellas plantas de condición no inoculadas con el patógeno (Fig. 24-A). Sin embargo, con respecto a SPAD, sí se observaron diferencias significativas que favorecen al tratamiento N2A tanto inoculada como no inoculada con *X. vesicatoria*. Aquellas plantas no inoculadas presentaron valores de SPAD de 32,4 para N2A y 29,4 para C, y aquellas que se encontraban inoculadas con *X. vesicatoria* presentaron valores de 31,2 para N2A y 28,8 para C (Fig. 24-B).



**Figura 24.** A) Flujo lineal de electrones y B) SPAD a 14 dpi según la condición (inoculadas o no inoculadas con *X. vesicatoria*) y el tratamiento (N2A o C). Las letras diferentes indican diferencias significativas en el área bajo la curva según LSD Test de Fisher ( $p < 0,05$ ). Los valores se expresan como media  $\pm$  SEM.

#### 4. DISCUSIÓN

*Streptomyces* es un grupo de bacterias que ha sido muy investigado por su capacidad para promover el crecimiento vegetal e incluso combatir microorganismos patógenos para los cultivos (Vurukonda y Stefani, 2018). Estas bacterias tienen un gran futuro en la agricultura ofreciendo una alternativa sustentable para el formulado de bioinsumos y con proyección a largo plazo. Los resultados presentados en este trabajo de tesina provienen del estudio de la cepa de *Streptomyces* sp. N2A que tras demostrar previamente efectos beneficiosos en el cultivo de soja, fue evaluada en plantas de tomate con el objetivo de analizar su capacidad como bioestimulante, así como su potencial en el biocontrol de fitopatógenos.

Con respecto a los ensayos de germinación, previamente se observó en Villafañe et al. (2024) que el tratamiento bacteriano N2A aumentó significativamente el % G en plantas de soja. En este trabajo se observa una tendencia similar a la reportada previamente por el equipo de investigación en la cual la cepa *Streptomyces* sp. N2A generó un aumento significativo en % G en semillas de tomate. Sin embargo, este trabajo extiende las observaciones anteriores al presentar condiciones adicionales como el uso de las semillas utilizadas en la primera réplica con vigor disminuido por el almacenamiento o factores abióticos, lo cual generó que el % G del tratamiento C haya tenido un valor muy bajo. Ante esta situación, las plántulas del tratamiento N2A superaron ampliamente el % G con respecto al control, siendo esto un resultado a destacar. Los resultados de ambos ensayos validan la hipótesis de que *Streptomyces* sp. N2A promueve el crecimiento y desarrollo desde la germinación de la semilla, e incluso da pie a una nueva posible aplicación de esta cepa para mejorar la germinación de semillas con bajo poder germinativo, afectadas por factores bióticos y/o abióticos.

Luego, si bien no se observaron diferencias en parámetros asociados a crecimiento y desarrollo en el estadio vegetativo, sí se encontraron diferencias significativas en rendimiento, en particular en parámetros de morfología o tamaño del fruto: espesor del pericarpio y altura del fruto, dando como resultado frutos de mayor peso. Este aumento de rendimiento en plantas que recibieron el tratamiento N2A se observó por primera vez en la campaña 2022, y por esa razón al año siguiente se decidió analizar más parámetros para identificar aquellos relacionados con el rendimiento y calidad de los frutos obtenidos. Los resultados sugieren que estas diferencias observadas, que favorecen al tratamiento bacteriano, han conducido a un mayor

peso unitario de frutos, y por ende a un mayor rendimiento, sin modificar la calidad del mismo. Será necesario profundizar en este fenómeno para esclarecer los procesos que lo explican. Según Gillaspay (1993), el aumento del peso unitario del fruto puede estar relacionado, entre otros factores, con la expansión celular masiva que se da en fases tempranas del desarrollo. Además, en el mismo artículo se menciona que un mayor desarrollo del pericarpio, dado por células más grandes, también influye positivamente en el rendimiento final. Los datos obtenidos en el presente trabajo, complementan los resultados previos del grupo acerca del rendimiento en soja (Villafañe et al. 2024), aportando nueva información sobre el cultivo de tomate. Es importante destacar que, en el cultivo de la soja, no se detectaron diferencias en los parámetros de crecimiento durante el estadio vegetativo, sin embargo, si se observó un incremento del número de vainas y, en consecuencia, de semillas a cosecha (Villafañe et al. 2024).

Por otro lado, las plantas de tomate provenientes de cultivares con distinta susceptibilidad a *X. vesicatoria*, como son cv. UCO/14 y cv. OH88119, en presencia del patógeno no mostraron una reducción de la sintomatología en aquellas inoculadas con N2A respecto a las del tratamiento C. Sin embargo, sí se observaron incrementos significativos en diversos parámetros asociados a crecimiento, desarrollo y capacidad fotosintética. En particular, plantas del cultivar más susceptible, cv. OH88119, aun estando inoculadas con *X. vesicatoria*, mostraron un aumento significativo en el número de nudos y flores, SPAD, FLE y biomasa total con respecto al C. Además, el N° de frutos también presentó diferencias positivas con respecto al C aunque no fueron significativas. Es importante destacar que en soja también fue reportado previamente un aumento en parámetros de crecimiento y desarrollo como N° de nudos y biomasa total en plantas tratadas con N2A e inoculadas con el patógeno fúngico *Diaporthe aspalathi* (Villafañe et al. 2025).

Por lo tanto, la promoción de crecimiento y desarrollo previamente demostrada en tomate se mantendría aún bajo una situación de estrés sugiriendo que la cepa de *Streptomyces* sp. N2A podría activar diversos mecanismos para mitigar los efectos del mismo. Esta mejora en la adaptación de las plantas al estrés puede estar influenciada por los mecanismos de promoción del crecimiento propios de las PGPR, previamente caracterizados por nuestro grupo para esta cepa, como la secreción de sideróforos, solubilización de fosfato tricálcico y la producción de ácido indolacético (IAA) (Ebrahimi-Zarandi et al. 2022; Newitt et al. 2019). Según Beneduzi et al. (2012) y de Andrade et al. (2023), la acción sinérgica de múltiples mecanismos benéficos es

común en PGPR, es por eso que identificar e indagar en estos mecanismos o vías de acción, requerirán de futuros análisis para poder explicar lo que se observa en resultados.

En cualquier caso, los datos obtenidos respaldan la hipótesis de que el tratamiento de semillas con esta cepa de *Streptomyces* mejora el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate no solo cuando las plantas se encuentran en una situación sin estrés, sino también bajo condiciones de estrés biótico, como el originado por la bacteria patógena, en dos cultivares distintos.

Otro resultado que requiere de futuros análisis es el efecto de *Streptomyces* sp. N2A en la promoción de crecimiento y desarrollo de plantas provenientes de distintos cultivares. Se observa en el apartado 3.2.2 que el cv. UCO/14 mostró un aumento significativo en el peso de los frutos tratados con N2A y hubo diferencia positiva en el número de frutos por planta, aunque este no fue significativo. Sin embargo, en el ensayo de biocontrol con el cv. OH88119, si bien las condiciones del ensayo no fueron igual a las realizadas en UCO/14, sí se observó un aumento significativo en el número de frutos del tratamiento N2A con respecto al C. En base a estas diferencias se debería probar a futuro el efecto de esta cepa en la promoción de crecimiento de plantas del cultivar OH88119 bajo las mismas condiciones que el ensayo realizado en UCO/14 para que sirva de comparación entre cultivares.

Comprender los mecanismos mediante los cuales estas bacterias promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas de distintos cultivos de interés agronómico resulta esencial para aprovechar su potencial en el desarrollo de estrategias más eficaces y sostenibles. El conocimiento detallado de estos mecanismos facilitará el desarrollo de bioinsumos específicos y su aplicación tecnológica como alternativa sostenible a los agroquímicos convencionales.

#### 4.1 Perspectivas de trabajo

Los efectos favorables observados en promoción del crecimiento y desarrollo vegetal son evidentes, pero se requiere continuar con ensayos experimentales que esclarezcan aspectos que no están definidos aún, y que son fundamentales para determinar los mecanismos de acción de *Streptomyces* sp. N2A sobre la planta de tomate.

- Los resultados obtenidos en condiciones semicontroladas deberán ser confirmados con pruebas a campo, con el fin de verificar la persistencia de los

efectos benéficos sobre el crecimiento y desarrollo vegetal, en condiciones de producción no controladas.

- Se deberá evaluar los efectos de *Streptomyces* sp. N2A con respecto a la promoción de crecimiento desde la germinación usando semillas afectadas por diversos factores, bióticos y abióticos; y analizando distintos cultivares.
- Se plantea aplicar técnicas de microscopía para estudiar el desarrollo celular del cigoto luego de la fecundación, con el objetivo de identificar etapas diferenciales en el desarrollo del fruto entre los tratamientos que ayuden a comprender las diferencias observadas en el grosor del pericarpio.
- Además, se propone analizar la anatomía del fruto de tomate en desarrollo (cv. UCO/14) haciendo foco en el pericarpio y las diferencias que se puedan observar en su composición.
- Bajo el supuesto de que *Streptomyces* sp. N2A induce mecanismos asociados a promoción de crecimiento y desarrollo aún bajo situaciones de estrés, se propone profundizar con estudios específicos para caracterizar estos mecanismos como, por ejemplo, el análisis de expresión génica por qRT-PCR de genes marcadores de defensa y acumulación de especies reactivas del oxígeno, entre otros.
- Partiendo de la base que *Streptomyces* sp. N2A presenta propiedades PGPR previamente caracterizadas, se sugiere diseñar ensayos que distingan el efecto de cada mecanismo (ej. tratamiento con cepa mutantes) para evaluar su contribución a la mejora de la adaptación de las plantas en condiciones de estrés biótico.
- Con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre el posible efecto biocontrolador, se podrían realizar pruebas en otros patosistemas, incluyendo otras bacterias o incluso hongos que sean causales de enfermedades de impacto para el cultivo del tomate.
- Se plantea realizar un nuevo ensayo de promoción de crecimiento con el cv. OH88119 hasta cosecha para analizar si el tratamiento N2A tiene efecto en el N° y peso de frutos en las mismas condiciones realizadas para el cv. UCO/14.

## 5. CONCLUSIONES

- El tratamiento de semillas de tomate con la cepa *Streptomyces* sp. N2A generó incrementos significativos en el porcentaje de germinación de las semillas, con respecto al control. La cepa *Streptomyces* sp. N2A, inoculada en las semillas de tomate del cv. UCO/14, generó un mayor rendimiento final debido a un aumento en el peso unitario del fruto respecto al tratamiento control. Esto se asocia a un mayor espesor del pericarpio y mayor altura que presentaron los frutos del tratamiento bacteriano.
- Se comprobó que el tratamiento N2A en el cv. UCO/14 no generó efectos negativos sobre parámetros de crecimiento y desarrollo como el perímetro del tallo (basal, medio y apical), longitud de entrenudos, N° de flores y peso seco. Lo mismo sucedió con los parámetros fotosintéticos espesor de hoja, eficiencia en el fotosistema 2 (Phi2), clorofila (SPAD) y temperatura, medidos tanto en floración como en formación de frutos.
- Los resultados mostraron que la cepa bacteriana no indujo reducciones con respecto a la calidad de fruto, que incluye los parámetros dureza, pH, sólidos solubles, acidez titulable y cantidad de pulpa. Esto sugiere la ausencia de efectos perjudiciales sobre el desarrollo del fruto y su maduración, ya que tampoco se encontraron diferencias en el análisis de vida poscosecha.
- En el análisis de susceptibilidad de distintos cultivares frente a *X. vesicatoria* se identificó al cv. OH88119 como el más susceptible.
- Para los cv. UCO/14 y OH88119, el tratamiento con N2A no evidenció diferencias significativas en el progreso de la enfermedad de la MB en comparación con el tratamiento C.
- Se observó promoción de crecimiento y desarrollo de las plantas de los cv. UCO/14 y OH88119 bajo la situación de estrés generada por *X. vesicatoria*.
- Los resultados sugieren que la cepa *Streptomyces* sp. N2A podría inducir diversos mecanismos en plantas de tomate de dos cultivares distintos, que se traducirían en una mejora de su crecimiento, desarrollo, rendimiento y estado fisiológico general, incluso bajo situaciones de estrés.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

**Abbasi, S., Safaie, N., Sadeghi, A., & Shamsbakhsh, M. (2019).** *Streptomyces* strains induce resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in tomato through different molecular mechanisms. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1505.

**Abdel-Razek, M. A. M., Abdelwahab, M. F., Abdelmohsen, U. R., & Hamed, A. N. E. (2025).** Phytochemical and biological biodiversity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) (2010–2022). *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 25(15).  
<https://doi.org/10.2174/0113895575347047250506102300>

**Agrios, G. N. (2005).** *Plant pathology* (5<sup>a</sup> ed.). Elsevier Academic Press.

**Ali, M. Y., Khan, M. A., Ma, Y., & Gao, Q. (2021).** Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.3390/foods10010045>

**Álvarez-Hernández, J. C. (2012).** Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agronómica*, 61, 117–125.

**Araújo, E. R., Pereira, R.C., Ferreira, M.A.S.V., Quezado-Duval, A. M., & Café-Filho, A.C. (2012).** Sensitivity of *Xanthomonas* causing tomato bacterial spot to copper and streptomycin and in vivo infra-specific competitive ability in *Xanthomonas perforans* resistant and sensitive to copper. *Journal of Plant Pathology*, 94(1), 79–87.

**Ba, W., Xu, W., Deng, Z., Zhang, B., Zheng, L., & Li, H. (2023).** The antioxidant and anti-inflammatory effects of the main carotenoids from tomatoes via Nrf2 and NF-κB signaling pathways. *Nutrients*, 15(21), Article 4652.  
<https://doi.org/10.3390/nu15214652>

**Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2012).** Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, 35(4), 1044–1051.  
<https://doi.org/10.1590/S1415-47572012000600020>

**Bercovich, B. A. (2022).** *Aplicaciones biotecnológicas de bacterias del género Streptomyces* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.

**Bercovich, B., Villafañe, D. L., Bianchi, J. S., Taddia, C., Gramajo, H., Chiesa, M. A., & Rodríguez, E. (2022).** *Streptomyces eurocidicus* promotes soybean growth and protects it from fungal infections. *Biological Control*, 165, 104821. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104821>

**Bianco, M. I., Ponso, M. A., Garita-Cambroner, J., Conforte, V. P., Galván, T. E., Dunger, G., Morales, G. M., Vojnov, A. A., Romero, A. M., Cubero, J., Yaryura, P. M. & (2023).** Genomic and phenotypic insight into *Xanthomonas vesicatoria* strains with different aggressiveness on tomato. *Frontiers in Microbiology*, 14.

**Cadmus, M. C., Rogovin, S. P., Burton, K. A., Pittsley, J. E., Knutson, C. A., & Jeanes, A. (1976).** Colonial variation in *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459 and characterization of the polysaccharide from a variant strain. *Canadian Journal of Microbiology*, 22(7), 942–948. <https://doi.org/10.1139/m76-136>

**Cambiaso, V., Pratta, G. R., Pereira da Costa, J. H., Zorzoli, R., Francis, D. M., & Rodriguez, G. R. (2019).** Whole-genome re-sequencing analysis of two tomato genotypes for polymorphism insight in cloned genes and a genetic map construction. *Scientia Horticulturae*, 247, 58–66.

**Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A. K. (2018).** Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2833–2849. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3221-z>

**Chiesa, M.A., Roeschlin, R.A., Favaro, M.A., Uviedo, F., Campos-Beneyto, L., D'Andrea, R., Gadea, J. & Marano, M.R. (2019).** Plant responses underlying nonhost resistance of *Citrus limon* against *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Molecular Plant Pathology*, 20(2), 254–269.

**de Andrade, L. A., Santos, C. H. B., Frezarin, E. T., Sales, L. R., & Rigobelo, E. C. (2023).** Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. *Microorganisms* 11:1088.

**Devi, S., Sharma, M., & Manhas, R. K. (2022).** Investigating the plant growth promoting and biocontrol potentiality of endophytic *Streptomyces* sp. SP5 against early blight in *Solanum lycopersicum* seedlings. *BMC Microbiology*, 22(1), 285.

**Dias, M. P., Bastos, M. S., Xavier, V. B., Cassel, E., Astarita, L. V., & Santarém, E. R. (2017).** Plant growth and resistance promoted by *Streptomyces* spp. in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 479–493.

**Di Giacomo, M., Luciani, M. D., Cambiaso, V., Zorzoli, R., Rodriguez, G. R., & Pereira da Costa, J. H. . (2020).** Tomato near isogenic lines to unravel the genetic diversity of *S. pimpinellifolium* LA0722 for fruit quality and shelf life breeding. *Euphytica*, 216, 1–15.

**Di Giacomo, M., Vega, T. A., Cambiaso, V., Picardi, L. A., Rodriguez, G. R., Pereira da Costa, J. H. (2023).** An integrative transcriptomics and proteomics approach to identify putative genes underlying fruit ripening in tomato near isogenic lines with long shelf life. *Plants*, 12. (Verifica DOI)

**Dirección de Producción Agrícola. (2023).** *Producción de tomate en Argentina: Evolución del cultivo hasta la temporada 2021/22*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-en-argentina-hasta-2021-2022.pdf>

**Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada M., & Robledo C. W. (2020).** *InfoStat version* [Software]. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

**Ebrahimi-Zarandi, M., Saberi Riseh, R., Tarkka, M.T. (2022).** Actinobacteria as effective biocontrol agents against plant pathogens, an overview on their role in eliciting plant defense. *Microorganisms*. 10:1739.

**FAO. (2024).** Agricultural production statistics 2010–2023 (FAOSTAT Analytical Briefs, No. 96). Roma. [openknowledge.fao.org](https://openknowledge.fao.org)

**Flores, C., Buono, S., & Giorgini, S. (2012).** *Enfermedades de tomate: Guía de consulta*. Ediciones INTA. <https://www.manualfitosanitario.com/InfoNews/GuiaConsultaEnfermedadesTomateWeb.pdf>

**Gillaspy, G. E. (1993).** Fruits: A developmental perspective. *The Plant Cell Online*, 5(10), 1439–1451. <https://doi.org/10.1105/tpc.5.10.1439>

**Giovannoni J. J. (2004).** Genetic Regulation of Fruit Development and Ripening, *The Plant Cell*, Volume 16, Issue suppl\_1, June 2004, Pages S170–S180, <https://doi.org/10.1105/tpc.019158>

**Gómez-Bellot, M. J., Lorente, B., Nortes, P. A., Ortuño, M. F., Sánchez-Blanco, M. J., & Alarcón, J. J. (2021).** Effect of mixed substrate with different mycorrhizal fungi concentrations on the physiological and productive response of three varieties of tomato. *Scientia Horticulturae*, 283, 110040.

**Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016).** Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1127500.

**Howard, L. R., White, B.L., Uebersax, M.A. & Siddiq, M. (2018).** Dry beans processing, quality evaluation, and nutrition. In M. Siddiq & M. A. Uebersax (Eds.), *Handbook of vegetables and vegetable processing* (pp. 559–587). Wiley-Blackwell.

**ISTA. (2022).** *International Rules for Seed Testing: Including changes and editorial corrections adopted at the Ordinary General Meeting 2014, Edinburgh, United Kingdom*. Bassersdorf, Switzerland.

**Kawicha, P., Nitayaros, J., Saman, P., Thaporn, S., Thanyasiriwat, T., Somtrakoon, K., Sangdee, K., & Sangdee, A. (2023).** Evaluation of soil *Streptomyces* spp. for the biological control of fusarium wilt disease and growth promotion in tomato and banana. *The Plant Pathology Journal*, 39(1), 108.

**Kirschbaum, D. S. (2022).** *Horticultura: Realidad y perspectivas de un sector clave*. Ediciones INTA.

**Kuhlgert, S., Austic, G., Zegarac, R., Osei-Bonsu, I., Hoh, D., Chilvers, M. I., Roth, M. G., Bi, K., TerAvest, D., Weebadde, P., & Kramer, D. M. (2016).** MultispeQ Beta: A tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network. *Royal Society Open Science*, 3(10), 160592. <https://doi.org/10.1098/rsos.160592>

**Leister, R. T., Dahlbeck, D., Day, B., Li, Y., Chesnokova, O., & Staskawicz, B. J. (2005).** Molecular genetic evidence for the role of SGT1 in the intramolecular

complementation of Bs2 protein activity in *Nicotiana benthamiana*. *Plant Cell*, 17(4), 1268–1278.

**Liu X., Geng X., Zhang H., Shen H., Yang W. (2017).** Association and genetic identification of loci for four fruit traits in tomato using InDel markers. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1269.

**Marques, I. C. S., Silva, D. M. R., Aires, E. S., Júnior, F. G. B. F., Vargens, F. N., Santos, V. A. Á. dos, Oliveira, F. de A., Ono, E. O., & Rodrigues, J. D. (2024).** Effect of pre-harvest application of *Bacillus subtilis* on the shelf life of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 337, 113516. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113516>

**Martínez-Medina, A., Flors, V., Heil, M., Mauch-Mani, B., Pieterse, C. M. J., Pozo, M. J., Ton, J., van Dam, N. M., & Conrath, U. (2016).** Recognizing plant defense priming. *Trends in Plant Science*, 21(10), 818–822.

**Moccia, S., Chiesa A., Oberti, A., & Tiftonell, P. A. (2006).** Yield and quality of sequentially grown cherry tomato and lettuce under long-term conventional, low-input and organic soil management systems. *European Journal of Horticultural Science*, 71(4), 183–191.

**Newitt, J.T., Prudence, S.M.M., Hutchings, M.I., Worsley, S.F. (2019).** Biocontrol of cereal crop diseases using Streptomycetes. *Pathogens* 8(2):78.

**Obregón, V. (2018).** *Guía para la identificación de las enfermedades de tomate bajo invernadero* (2ª ed., M. Ibañez & T. Lattar, Eds.). Ediciones INTA.

**Osato, T. (1955).** Production of tertiomycin (a new antibiotic substance), azomycin and eurocidin by *Streptomyces eurocidicus*. *Journal of Antibiotics A*, 8, 105–109.

**Osdaghi, E., Jones, J. B., Sharma, A., Goss, E. M., Abrahamian, P., Newberry, E. A., Potnis, N., Carvalho, R., Choudhary, M., Paret, M. L., Timilsina, S., & Vallad, G. E. (2021).** A centenary for bacterial spot of tomato and pepper. *Molecular Plant Pathology*, 22(12), 1500–1514.

**Passari, A. K., Upadhyaya, K., Singh, G., Abdel-Azeem, A. M., Thankappan, S., Uthandi, S., Hashem, A., Abd\_Allah, E. F., Malik, J. A., Alqarawi A. S., Gupta, V. K., Ranjan, S., & Singh, B. P. (2019).** Enhancement of disease resistance, growth potential, and photosynthesis in tomato (*Solanum lycopersicum*) by inoculation with

an endophytic actinobacterium, *Streptomyces thermocarboxydus* strain BPSAC147. *PLoS One*, 14(7), e0219014.

**Pernezny, K., Michael Davis, R., & Momo, T. (2012).** Chapter 11: Management of important bacterial diseases. In P. Jones, K. Pernezny, & P. Roberts (Eds.), *Tomato health management* (pp. 103–112). The American Phytopathological Society.

**Rodríguez, G., Pratta, G., Zorzoli, R., & Picardi, L. A. (2005).** Characterization of the segregating generation of a tomato hybrid carrying nor and exotic genes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40(1), 41–46. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2005.v40.6919>

**Romer, P., Hahn, S., Jordan, T., Strauss, T., Bonas, U., & Lahaye, T. (2007).** Plant pathogen recognition mediated by promoter activation of the pepper Bs3 resistance gene. *Science*, 318(5849), 645–648.

**Schorneck, S., Ballvora, A., Gurlebeck, D., Peart, J., Ganal, M., Baker, B., Bonas, U., & Lahaye, T. 2004).** The tomato resistance protein Bs4 is a predicted non-nuclear TIR-NB-LRR protein that mediates defense responses to severely truncated derivatives of AvrBs4 and over-expressed AvrBs3. *The Plant Journal*, 37(1), 46–60.

**Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2022, 22 de agosto).** Tomate: un fruto que supera las expectativas y promete un sostenido crecimiento [Documento en PDF]. Argentina.gov.ar. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/tomate-un-fruto-que-supera-las-expectativas-y-promete-un-sostenido-crecimiento>

**Secretaría de Bioeconomía (2024, junio).** Ficha técnica de tomate: Bioeconomía [Documento en PDF]. Argentina.gov.ar. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/06/bioeconomia-tomate-ficha-sin-tetica.pdf>

**Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (2023).** Resolución 1004/2023. <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/410000-414999/411236/norma.htm>

**Siddiq, M., & Uebersax, M. A. (Eds.). (2018).** *Handbook of vegetables and vegetable processing* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.  
<https://doi.org/10.1002/9781119098935>

**Starobinsky, G., Monzón, J., Di Marzo Broggi, E., & Braude, E. (2021).** Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina. *Documentos de Trabajo del CCE N° 17*. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

**Starobinsky, G., Monzón, J., Di Marzo Broggi, E., & Braude, E. (2024).** El desarrollo de bioinsumos como camino hacia una especialización sustentable: capacidades, oportunidades y recomendaciones de políticas para Argentina. *Revista Pymes, Innovación y Desarrollo*, 12(2), 3–23.

**Strayer-Scherer, A., Liao, Y. Y., Young, M., Ritchie, L., Vallad, G. E., Santra, S., Paret, M. L. (2018).** Advanced copper composites against copper-tolerant *Xanthomonas perforans* and tomato bacterial spot. *Phytopathology*, 108(2), 196–205.

**Taddia, C., Villafañe, D. L., Bianchi, J. S., Gramajo, H., Rodríguez, E., & Chiesa, M. A. (2021).** Effect of autochthonous isolates of *Streptomyces* spp. on growth, development, and plant protection in soybean. XXXIII Argentinian Meeting of Plant Physiology (RAFV).

**Viera, D. E. (2018).** Optimización de extracción y microencapsulación de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Manzano) mediante secado por aspersión (Doctoral dissertation, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras).

**Villafañe, D. L., Maldonado, R. A., Bianchi, J. S., Kurth, D., Gramajo, H., Chiesa, M. A., & Rodríguez, E. (2024).** *Streptomyces* sp. N2A, an endophytic actinobacteria that promotes soybean growth and increases yield and seed quality under field conditions. *Plant Science*, 343, 112073.  
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112073>

**Villafañe, D. L., Maldonado, R. A., Rodríguez, E., & Chiesa, M. A. (2025).** Endophytic *Streptomyces* sp. N2A protects soybean against fungal diseases through

two distinct mechanisms. *BioControl*, 1–14.  
<https://doi.org/10.1007/s10526-025-10320-6>

**Villafañe, D. L., et al. (2020).** Isolation of actinobacteria as potential biological control agents against soybean fungal pathogens. XV Congreso Argentino de Microbiología General (SAMIGE).

**Vurukonda, S. S. K. P., Giovanardi, D., & Stefani, E. (2018).** Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), 952.

**Vurukonda, S. S. K. P., Giovanardi, D., & Stefani, E. (2018).** Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), 952.

**Zhang, X., Li, N., Liu, X., Wang, J., Zhang, Y., Liu, D., Wang, Y., Cao, H., Zhao, B. & Yang, W. (2021),** Tomato protein Rx4 mediates the hypersensitive response to *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* race T3. *Plant J*, 105: 1630-1644.  
<https://doi.org/10.1111/tpj.15138>