



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL**

**TANNIGEL VS. SUPERABSORBENTES COMERCIALES: INFLUENCIA EN
LAS PRIMERAS FENOFASES DE *Lactuca sativa* L. y *Solanum
lycopersicum* L.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la
Universidad de Concepción para optar al título profesional de
Ingeniero en Biotecnología Vegetal

Por: Isidoro Augusto Órdenes Rozas

Profesor Guía: Dr. Narciso Aguilera Marín

Concepción, Chile 2023

© 2023

Isidoro Augusto Órdenes Rozas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

**TANNIGEL VS. SUPERABSORBENTES COMERCIALES: INFLUENCIA EN
LAS PRIMERAS FENOFASES DE *Lactuca sativa* L. y *Solanum
lycopersicum* L**

Profesor Guía



Narciso Aguilera Marín
Profesor Asociado
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Profesor Guía



Bruno Urbano
Profesor Asociado
Químico Industrial, Dr.

Profesor Guía



Elvis Gavilán
Profesor Asistente
Licenciado en Matemática, Dr.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y amigos por ser parte de este proceso, por acompañarme, darme su apoyo siempre.

También agradezco a los integrantes del Laboratorio de Semioquímica Aplicada, por incluirme y prestarme su ayuda en el desarrollo los experimentos realizados.

Agradezco enormemente al profesor Dr. Narciso Aguilera por su entrega y paciencia, por guiarme, enseñarme, corregirme y confiar en mí además de darme la oportunidad participar en este proyecto.

Agradezco al Proyecto Fondef ID21110274 por haber financiado esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDECE DE ILUSTRACIONES.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.METODOLOGÍA.....	5
III.RESULTADOS.....	11
3.1 Experimento 1. Tannigel en la germinación y crecimiento inicial.....	11
3.2 Experimento 2 Comparación de tannigel vs SABs comerciales.....	14
3.3 Experimento 3. Influencia de superabsorbentes en la supervivencia del tomate al déficit hídrico.....	19
DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIÓN.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para el suelo 2 donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.....	12
Tabla 2. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para el suelo 2 donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.....	15
Tabla 3. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para el suelo 2 donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.....	19
Tabla 4. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para el suelo 2 donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.....	22

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Porcentaje de germinación de semillas de lechuga y tomate sometidos a tratamiento de tannigel (naranja) frente al control (azul).....	11
Figura 2. Efecto del tannigel en variables morfométricas de plántulas de <i>Lactuca sativa</i> . La media(muestra) \pm de(muestral) se obtuvieron después de aplicar la prueba Test-T. En el caso del grafico (F) se utilizó la prueba de ji cuadrado.....	13
Figura 3. Efecto del tannigel en variables morfométricas de plántulas de <i>Solanum lycopersicum</i> . La media(muestra) \pm de(muestral) se obtuvieron después de aplicar la prueba Test-T. En el caso del grafico (F) se utilizó la prueba de Ji cuadrado.....	16
Figura 4. Porcentaje de germinación de semillas de tomate sometidos a tratamientos de distintos SABs.....	17
Figura 5. Efecto de distintos SABs en variables morfométricas de plántulas de <i>Solanum lycopersicum</i> sembrada en suelo 1. La media(muestra) \pm de(muestral) se obtuvieron después de aplicar ANOVA de una vía. En el caso del grafico (F) se utilizó la prueba de Ji cuadrado.....	20
Figura 6. Efecto de distintos SABs en variables morfométricas de plántulas de <i>Solanum lycopersicum</i> sembrado en suelo 2. La media(muestra) \pm de(muestral) se obtuvieron después de aplicar ANOVA de una vía. En el caso del grafico (F) se utilizó la prueba de Ji cuadrado.....	23
Figura 7. Comportamiento de la supervivencia de las plantas de <i>Solanum lycopersicum</i> ante diferentes SABs tras la suspensión del agua	24
Figura 8. Plantas de tomate germinadas. Orden en la que se dispusieron las semillas en las bandejas (A) (1: Control, 2: Tannigel, 3: C&D, 4: Agrobiogel). Plantas de tomate en el último día de riego donde se muestra la longitud alcanzada por las plantas (B).....	25
Figura 9. Plantas de tomate muestran primeros síntomas déficit hídrico. 1: Control, 2: Tannigel, 3: C&D, 4: Agrobiogel.....	25
Figura 10. Plantas de tomate donde se observa una marchitez de nivel 2 en tratamiento 3 (A) y transición de esos tratamientos a nivel 3 dos días más tarde (B). 1: Control, 2: Tannigel, 3: C&D, 4: Agrobiogel.....	26

Figura 11. Tratamientos 1 y 2 que se encuentran en nivel 1 de marchitez con algunas plantas de tomate entrando a nivel 2 (A). Marchitez nivel 3 de los tratamientos 3 y 4.....	27
Figura 12. Niveles de marchitez en tomate en los diferentes tratamientos a los 17 días de suspendido el riego. A1 (control, nivel 2 y 3), B2 (tannigel, nivel 1).....	27
Figura 13. Plantas de tomate cultivadas en control en nivel 3 de marchitez (A1) y tannigel a nivel 2 (A2). Todos los tratamientos en nivel 3 de marchitez (B) a los 25 días de suspendido el riego.....	28

RESUMEN

Los superabsorbentes son una buena opción para enfrentar las sequías provocadas por el cambio climático aprovechando al máximo el agua usada en el riego gracias a su gran capacidad de retener el agua y permitir una dosificación controlada. La agricultura requiere de una gran cantidad de agua para poder obtener una buena producción de hortalizas debido a la alta demanda de esta que requieren para su crecimiento, por lo que el desarrollo de iniciativas que reduzcan el consumo de agua en dicho sector es muy importante. La lechuga (*Lactuca sativa* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) son unas de las principales hortalizas cultivadas y consumidas en el mundo, al tiempo que requieren de considerables cantidades de agua durante su ciclo fenológico. Esta investigación se enfocó en determinar la dinámica germinativa y el desarrollo morfológico de ambas hortalizas olerícolas durante el crecimiento inicial, sometidas a ambientes hídricos inducidos por los superabsorbentes (SABs) tannigel, agrobiogel y C&D. Se llevaron a cabo experimentos comparativos en condiciones controladas de cámara de crecimiento, simulándose condiciones de ambiente productivo. Se determinó el porcentaje de germinación, así como variables morfométricas que definieron la respuesta de la lechuga y el tomate a la influencia de los SABs. Los resultados de los SABs, en particular del tannigel, son promisorios, pues utilizándose 50% menos del agua destinada a riego, se obtuvieron respuestas morfológicas de las plántulas favorables, a pesar de no superar a los controles. También estos resultados constituyen una plataforma de referencia, para proyectar próximas investigaciones orientadas a mejorar el desempeño del tanningel -como producto novedoso- en la optimización de la dosificación del agua de riego en el cultivo de hortalizas.

Palabras claves: Agricultura, cambio climático, hidrogel, hortalizas, retención de agua, riego, sequía.

ABSTRACT

Superabsorbents are a viable option to address droughts caused by climate change by maximizing the use of water in irrigation, thanks to their significant water retention capacity and enabling controlled dosing. Agriculture demands a substantial amount of water to achieve optimal vegetable production due to their high water requirements for growth. Therefore, the development of initiatives to reduce water consumption in this sector is crucial. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) are among the primary vegetables cultivated and consumed globally, requiring considerable water throughout their phenological cycle. This research focused on determining the germination dynamics and morphological development of both vegetable crops during the initial growth phase, subjected to water environments induced by superabsorbents (SABs) such as tannigel, agrobiogel, and C&D. Comparative experiments were conducted in controlled growth chamber conditions, simulating productive environment conditions. The study evaluated germination percentages and morphometric variables defining the response of lettuce and tomato to the influence of SABs. The results of SABs, particularly tannigel, are promising, as using 50% less water allocated for irrigation resulted in favorable morphological responses of seedlings, although not surpassing the controls. These findings also serve as a reference platform for future research aimed at improving the performance of tannigel – a novel product – in optimizing irrigation water for vegetable cultivation.

Keywords: Agriculture, climate change, hydrogel, vegetables, water retention, irrigation, drought.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Situación del agua en la agricultura

Existen sectores muy demandantes por las mismas fuentes de recursos hídricos; por ejemplo: turismo, industrias, asentamientos poblacionales y agricultura. Es por ello, que la gestión eficiente de este recurso se vuelve particularmente crítica, pues constituye una amenaza relevante para la agricultura (Zhang y Guo 2016). La escasez de agua a escala local y regional limitará los esfuerzos para incrementar la producción agrícola en la mayoría de los países del mundo (De Fraiture y Wichelns 2010).

La población mundial ya sobrepasó los 8 mil millones de personas que demandan alimentos (Yazici y Taner 2023), al tiempo que aproximadamente el 62% del valor bruto de los alimentos se producen en condiciones de secano para cubrir el 71% de la población mundial (Clemmens y Molden 2007). Para que la situación sea más dramática, progresivamente se incrementan los suelos erosionados y afectados por la desertificación (FAO 2019). En este contexto, es urgente la búsqueda e integración de iniciativas que conduzcan a enfrentar las limitaciones de disponibilidad de agua para el sector agrícola (Singh *et al.* 2012).

1.2 Superabsorbentes para optimizar el agua en la agricultura

Una de las alternativas enfocadas a optimizar el uso del agua en la agricultura son los polímeros superabsorbentes. Los mismos son polímeros hidrofílicos que tienen el potencial de absorber y sostener una gran cantidad de agua y soluciones acuosas en su red (Zohourian y Kabiri 2008). Estos polímeros absorbentes de agua pueden ser naturales o sintéticos (Ahmed 2015). Algunos de los polímeros naturales utilizados para estos fines son quitosano, alginato, colágeno, dextrano, celulosa, quitina, etc; y algunos polímeros sintéticos como el acrílico ácido, ácido metacrílico, polietilenglicol, acetato de vinilo, alcohol polivinílico y varios acrilatos (Behera y Mahanwar 2020).

Iniciativas de esta naturaleza es conveniente probarlas en cultivos de ciclo corto. De esta manera, se pueden monitorear los resultados de forma muy rápida. Dentro de estos cultivos están la lechuga (*Lactuca sativa* L.: *Asteraceae*) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.: *Solanaceae*), entre otros. Esto pudiera ser más relevante, porque los mismos son altamente exigentes al agua y son dos de las hortalizas olerícolas más consumidas en todo el mundo (Viteri *et al.* 2013). Particularmente el tomate, constituye uno de los cultivos más producidos en el mundo de acuerdo con el volumen de biomasa dedicada al consumo humano. Al mismo tiempo, las producciones de lechuga de

diferentes variedades se incrementan de manera progresiva, así como la cantidad de áreas dedicadas a esta especie olerícola (Viteri *et al.* 2013).

1.3 Producción de hortalizas olerícolas en Chile

En Chile, según datos de la Encuesta Hortícola INE 2020 y la encuesta de superficie sembrada de cultivos anuales 2020, la superficie cultivada con hortalizas en la temporada 2020/21 se estimó en 92.720 ha. El 75% de las áreas hortícolas está representada por 12 especies olerícolas; dentro de ellas las principales son tomate, cebolla (*Allium cepa* L.), lechuga y poroto (*Phaseolus vulgaris* L). En las temporadas 2019/20 y 2020/21 la mayoría de las hortalizas crecieron en superficie cultivada. Las principales fueron tomate con 1.823 ha y lechuga con 1.411 ha cultivadas (ODEPA 2021). Para mantener ritmos crecientes de producción en las diferentes hortalizas, particularmente en tomate y lechuga, se requiere disponer de suministros y optimización del agua disponible para riego (INIA 2018). En este contexto, es importante conocer la eficiencia de los diferentes hidrogeles disponibles en el mercado; así como obtener iniciativas propias que sean capaces de superar las bondades que ofrecen los superabsorbentes comerciales.

Hipótesis

El superabsorbente tannigel garantiza mejores condiciones hídricas en el suelo que los hidrogeles agrobiogel y C&D reflejándose en la germinación y características morfológicas de *Solanum lycopersicum* y *Lactuca sativa* durante la germinación y el crecimiento inicial.

Objetivo General

Determinar la dinámica germinativa y el desarrollo morfológico de *S. lycopersicum* y *L. sativa* durante el crecimiento inicial debido al ambiente hídrico inducido por los superabsorbentes tannigel, agrobiogel y C&D.

Objetivos Específicos

- 1) Determinar la influencia de los tres superabsorbentes en el proceso germinativo de las hortalizas olerícolas *S. lycopersicum* y *L. sativa*.
- 2) Evaluar el comportamiento de variables morfológicas de las dos especies olerícolas que definen la eficiencia hídrica inherente a los superabsorbentes.
- 3) Determinar el tiempo de supervivencia de plántulas de *S. lycopersicum* sometidas a estrés por déficit hídrico en sustrato suplementado con los tres superabsorbentes.

II. METODOLOGÍA

2.1 Procedencia y características de los hidrogeles superabsorbentes (SABs)

El SAB C&D tiene un origen sintético no degradable basado en poliacrilato de potasio, este posee una capacidad de absorción de $307,1 \pm 8,5$. Se adquirió mediante donación de un productor que a la vez es profesor del Laboratorio de Química de Productos Naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la UdeC. El SAB agrobiogel posee un origen sintético biodegradable basado en lignosulfonatos, tiene una absorción de $116,8 \pm 14,4$. Este absorbente fue adquirido y donado por la Facultad de Ciencias Químicas de la UdeC, y el SAB tannigel es un producto sintetizado por el Departamento de Polímeros de la facultad antes mencionada también biodegradable y con una absorción de $215,0 \pm 3,7$. Dicho SAB fue suministrado sistemáticamente al Laboratorio de Semioquímica Aplicada (LSqA) para ser evaluado y optimizado en la producción de hortalizas olerícolas.

2.2 Procedencia del material vegetal

Las semillas de *S. lycopersicum* y *L. sativa* se adquirieron en la tienda de distribución de insumos agrícolas Agroflora, ubicada en la ciudad de Concepción. Se utilizaron estas dos especies debido a que alcanzan altos porcentajes de

germinación entre 5 a 10 días, y tienen un ciclo biológico rápido. Además, son altamente demandantes al agua durante todas sus etapas fenológicas, particularmente durante la germinación y el crecimiento inicial.

2.3 Procedencia y preparación del suelo como sustrato

Se utilizaron dos suelos en dependencia del tipo de experimento. Uno de ellos se recolectó en el cerro ($36^{\circ}50'09,4''S$ $73^{\circ}01'49,9''W$) próximo a la Facultad de Ciencias Forestales de la UdeC (Suelo 1). El otro suelo se recolectó en la Estación Biológica Terrestre ($36^{\circ}47'47,3''S$ $73^{\circ}09'40,5''W$) de la Universidad de Concepción, ubicada en el Santuario de la Naturaleza de la Península de Hualpén en la Región del Biobío (Suelo 2). Para la recolección de los suelos se eliminó o apartó el horizonte (A0), compuesto por restos vegetales y hojarascas. Posteriormente se recolectó en diferentes puntos bajo el área de goteo una capa aproximadamente de 5 a 7 cm del sustrato superficial se colocó en una bolsa y se llevó al LSqA donde se tamizó y homogeneizó.

2.4 Experimento 1. Tannigel en la germinación y crecimiento inicial

Se utilizaron bandejas plásticas de 50 alveolos de 50x46x30 mm (0,073 L/alveolo). Cada alveolo se relleno con sustrato obtenido de la Estación Biológica Terrestre. Para cada especie olerícola se destinó una bandeja que se dividió en

dos partes iguales ($n = 25$ alveolos). En una parte solo se colocó sustrato y en el otro sustrato más 0,27 g de tannigel. El tannigel se aplicó e incorporó al sustrato mediante una mezcla a unos 2 cm de profundidad, hasta lograrse homogeneidad entre el sustrato y el superabsorbente.

En cada alveolo se sembraron dos semillas y se regaron con agua hasta lograrse humedecimiento. Las bandejas se cubrieron con una tapa de plástico transparente y se colocaron en una cámara de crecimiento a temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad relativa de $60 \pm 5\%$, intensidad luminosa de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y fotoperiodo de 16/8 h (luz/oscuridad). A los 15 días se realizó un raleo y se dejó una planta por alveolo.

El primer riego fue de humedecimiento hasta que el sustrato alcanzó alrededor del 60% de la capacidad de campo. Cuando las plantas se elongaron aproximadamente 2 cm se comenzó a aplicar 5 mL de agua por alveolo cada 5 días en el control y cada 10 días en los tratamientos. Dicho régimen de riego se cambió a los 8 días, debido a que las plantas requerían mayor demanda en correspondencia con el desarrollo de su biomasa. Entonces el riego se ajustó a un régimen de 8 mL por alveolo cada 2 días para al control y cada 4 días para los tratamientos, manteniéndose de esa manera durante 4 semanas; posteriormente se incrementó el riego a 15 mL con la misma frecuencia antes señalada.

El experimento se evaluó a las 10 semanas de haberse establecido, mediante el porcentaje de germinación (PG) y la respuesta de las siguientes variables morfométricas: longitud de la planta (cm) (LP), número de hojas verdaderas (NHV), longitud de la raíz principal (cm) (LR), número de raíces secundarias (NRS), contenido de masa fresca (CMF) y contenido de masa seca (CMS). Para esta última variable, se masaron las plantas en una balanza de precisión (RADWAG 2/A2, Polonia) (masa fresca), luego se empaquetaron en papel de aluminio y se colocaron en estufa (Venticel 111 Eco, Alemania) a 60 °C durante 72 h hasta que las mismas alcanzaron masa constante; para finalmente determinarse el contenido de masa seca (g).

2.5 Experimento 2. Comparación de tannigel vs. SABs comerciales

Las bases experimentales siguieron el mismo procedimiento descrito en el epígrafe 2,4. Sin embargo, en este caso se utilizaron los dos tipos de suelos indicados en el epígrafe 2,3, para comprender mucho mejor la relación que se establece entre los SABs y las características o propiedades de los suelos. Ambos suelos poseen propiedades físicas y químicas diferentes. Se destinaron dos bandejas por tipo de suelo. Cada bandeja se dividió en dos partes: control y tannigel en una, agrobiogel y C&D en otra, con 25 alveolos para cada tratamiento en las que se sembró *S. lycopersicum*. Las condiciones de cultivo, duración del

experimento y variables evaluadas son similares a las indicadas en el apéndice 2.4.

2.6 Experimento 3. Superabsorbentes en la supervivencia del tomate al déficit hídrico

Las bases experimentales siguieron el mismo procedimiento de preparación de la tierra y la siembra de los experimentos anteriores. En este caso solamente se utilizó el suelo procedente de la Estación Biológica Terrestre debido a que tiene las mejores características físicas y químicas. Una bandeja se relleno con el suelo y se dividió en cuatro partes: control (n = 10), tannigel (n =20), agrobiogel (n = 10), C&D (n = 10), y se sembró *S. lycopersicum*. Durante las primeras 3 semanas se aplicó riego de humedecimiento de acuerdo con el régimen y dosis indicadas anteriormente. Una vez que las plantas tuvieron aproximadamente entre 8 a 10 cm de longitud se suspendió el riego de manera definitiva y se registró diariamente la supervivencia de las plantas y el nivel de marchitez mediante la siguiente clasificación: nivel 1 (cambio de color de las hojas a amarillento) nivel 2 (perdida de turgencia de la planta), y nivel 3 (marchitez permanente de las plantas).

2.7 Análisis estadísticos

El efecto de los tratamientos sobre las diferentes variables se analizó mediante diferentes pruebas según qué caso. En el experimento uno para observar si hay o no una distribución normal se usó el Test de Shapiro-Wilk, para detectar homocedasticidad se usó el Test F, si se cumple que hay una distribución normal y homocedasticidad se usó el Test t para medir si hay diferencias significativas entre sus medias poblacionales. En algunos casos donde no hay normalidad, pero sí hay en ambas distribuciones (histogramas) antisimétricas hacia el mismo lado; en el caso en que hubiese homocedasticidad con respecto a la mediana se usó el Test de Fligner-Killeen, para detectar eventuales diferencias (depende del valor-p que se obtenga) entre las medianas la prueba usada es el Test de Mann-Whitney-Wilcoxon. Para el experimento dos se usó análisis de varianza o ANOVA, el Test de Kruskal-Wallis se usó cuando no se cumplió el supuesto de distribución normal y se obtuvo homocedasticidad a través de la mediana con Test de Levene. Para las variables categóricas se aplicó la prueba de Ji Cuadrado. Se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 para todos los análisis. Los análisis estadísticos se realizaron con el software R.

III. RESULTADOS

3.1 Experimento 1. Tannigel en la germinación y crecimiento inicial

La tasa de germinación de la lechuga fue del 100% tanto para el control como para tannigel (Fig. 1).

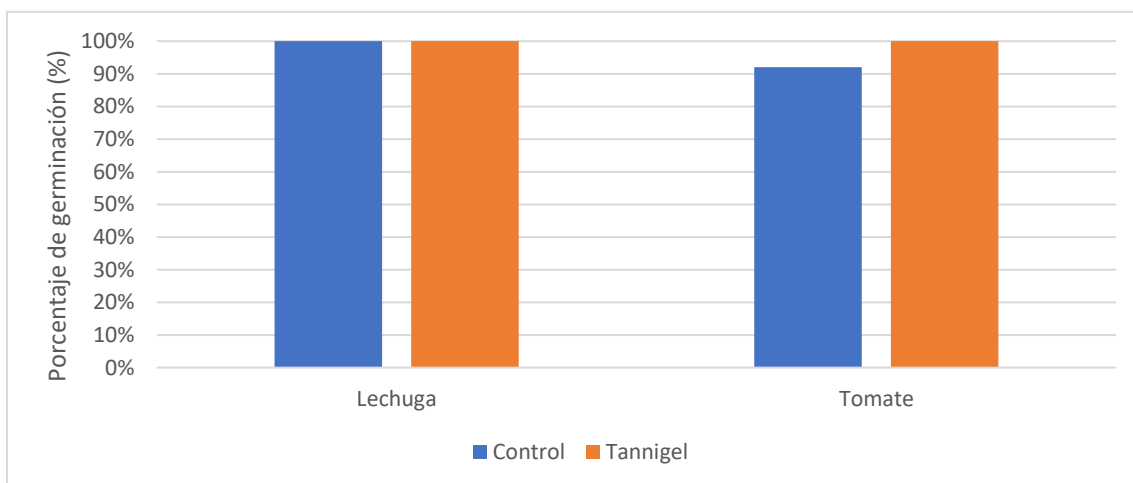


Figura 1. Porcentaje de germinación de semillas de lechuga y tomate sometidos a tratamiento de tannigel (naranja) frente al control (azul).

Las plántulas de lechuga crecieron significativamente más en el control que en tannigel ($p < 0,05$) (Fig. 2A). Sin embargo, el número de hojas verdaderas fue similar en control y tratamiento (Fig. 2B). La raíz principal también creció más de forma significativa en el control que en el tratamiento ($p < 0,05$) (Fig. 2C), reflejándose el mismo resultado en el contenido de masa fresca (Fig. 2D). No

obstante, el contenido de masa seca no mostró diferencia significativa entre el control y el tannigel (Fig. 2E). El tratamiento indujo menor formación de raíces secundarias que el control, caracterizándose fundamentalmente por la categoría de pocas (Fig. 2F). Las diferencias entre los tratamientos se ven en la tabla 1. Se observa diferencia significativa en longitud de la planta, longitud de la raíz y en masa fresca. No se observó diferencias significativas en el número de hojas verdaderas y la masa seca por lo que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En la prueba de ji-cuadrado se determinó que las variables son independientes con un valor p de 0,1749.

Tabla 1. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para lechuga donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.

Lechuga	Distribución normal (Test Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Test F, Test de Fligner-Killeen)	Diferencias ente las medias y medianas poblacionales (Test T, Test de Mann-Whitney-Wilcoxon)
Longitud de la planta	C: 0,1479 T: 0,5456	0,1044	0,0009052
N° de hojas verdaderas	C: 0,001228 T: 0,002281	0,8881	0,3741
Longitud de la raíz	C: 0,2112 T: 0,09655	0,2024	0,001859
Masa fresca	C: 0,8129 T: 0,0834	0,001143	6,126e-07
Masa seca	C: 1,559e-05 T: 0,002201	0,3214	0,3367

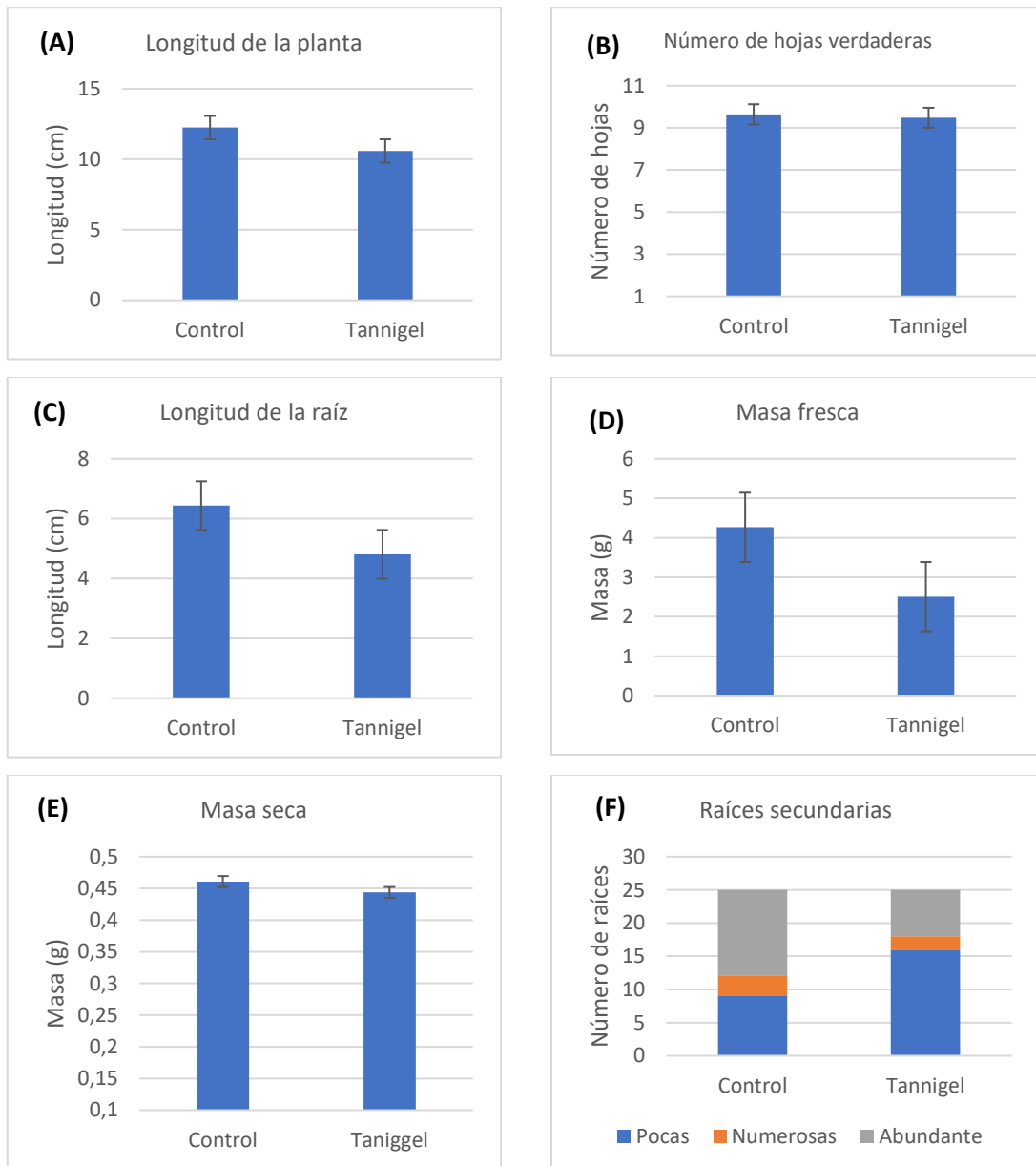


Figura 2. Efecto del tannigel en variables morfológicas de plántulas de *Lactuca sativa*. La $\bar{x} \pm \sigma$ se obtuvieron después de aplicar la prueba Test-T. En el caso del gráfico (F) se utilizó la prueba de ji cuadrado

La tasa de germinación en tomate fue del 92% para el control y 100% para el tratamiento (Fig. 1). Las diferencias entre los tratamientos se muestran en la tabla 2. Se observan diferencia significativa en todas las variables medidas con excepción de la longitud de la raíz que no posee suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En la prueba de ji-cuadrado se determinó que las variables son independientes con un valor p de 0,921. Las plántulas de tomate crecieron significativamente más en el control que en tannigel ($p < 0,05$) (Fig. 3A). El número de hojas verdaderas fue mayor en control que en el tratamiento (Fig. 3B). La raíz principal tuvo un crecimiento similar en el control y en el tratamiento (Fig. 3C); al contrario, hubo diferencia significativa en los resultados del contenido de masa fresca ($p < 0,05$) (Fig. 3D). De igual forma, el contenido de masa seca mostró diferencia significativa entre el control y el tannigel (Fig. 3E). El tratamiento indujo menor formación de raíces secundarias que el control, caracterizándose fundamentalmente por la categoría de pocas (Fig. 3F).

Tabla 2. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para tomate donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.

Tomate	Distribución normal (Test Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Test F, Test de Fligner-Killeen)	Diferencias entre las medias poblacionales (Test T, Test de Mann-Whitney-Wilcoxon)
Longitud de la planta	C:0,2782 T:0,5984	0,0661	1,601e-06
Nº de hojas verdaderas	C:0,3976 T:0,5166	0,05154	0,0001988
Longitud de la raíz	C:0,05216 T:0,9528	0,1957	0,6771
Masa fresca	C:0,6768 T:0,5194	0,2124	1,804e-06
Masa seca	C:0,1217 T:0,1289	3,252e-07	5,728e-06

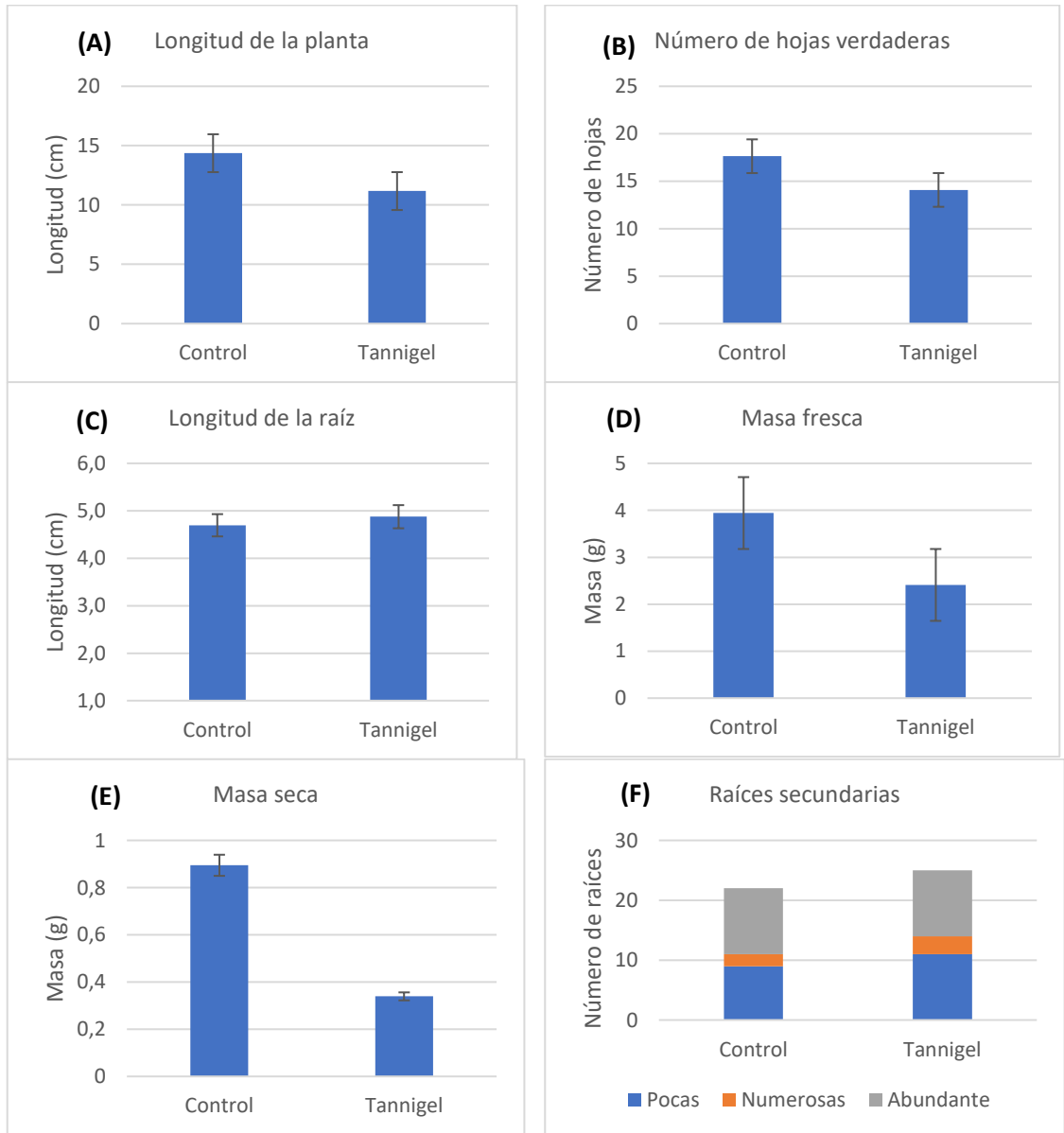


Figura 3. Efecto del tannigel en variables morfométricas de plántulas de *Solanum lycopersicum*. La $\bar{x} \pm \sigma$ se obtuvieron después de aplicar la prueba Test-T. En el caso del gráfico (F) se utilizó la prueba de Ji cuadrado.

3.2 Experimento 2: Comparación de tannigel vs. SABs comerciales

La tasa de germinación que se obtuvo de las plantas germinadas en el suelo 1 fue del 100% para todos los casos (Fig. 4).

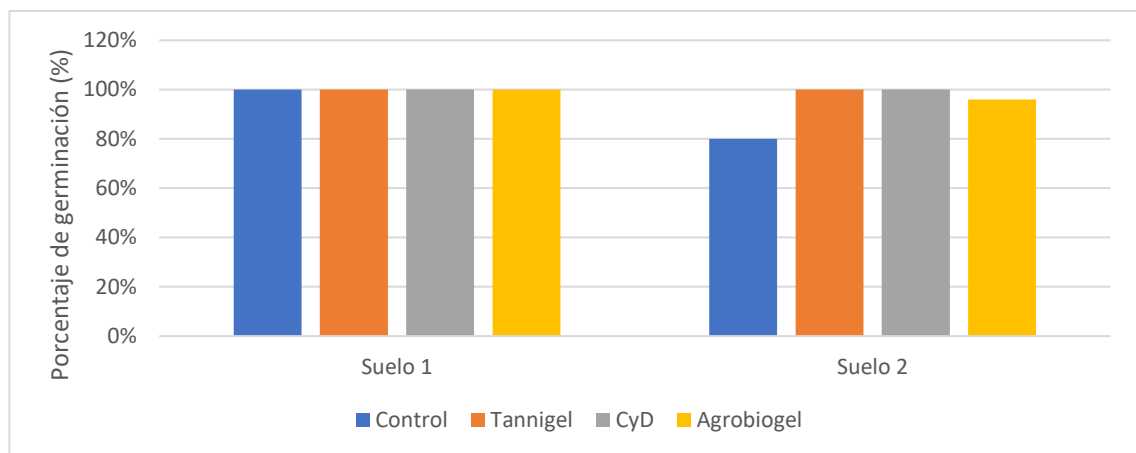


Figura 4. Porcentaje de germinación de semillas de tomate sometidos a tratamientos de distintos SABs.

Las diferencias entre los tratamientos se muestran en la tabla 3. Se observan diferencia significativa en todas las variables medidas con mostrando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En la prueba de ji-cuadrado se determinó que las variables son dependientes con un valor p de 0,005497. El número de hojas verdaderas fue mayor en el tratamiento C&D que en el tratamiento tannigel (Fig. 5A). Las plántulas de tomate crecieron significativamente más en el tratamiento C&D que en tannigel siendo este el que presentó las menores longitudes ($p < 0,05$) (Fig. 5B). La raíz principal tuvo un crecimiento similar entre el control y C&D de la misma forma el tratamiento

tannigel y agrobiogel tuvieron resultados similares, pero de menor longitud que los anteriores ($p < 0,05$) (Fig. 5C). Al contrario, hubo diferencia entre todos los resultados del contenido de masa fresca siendo el tratamiento C&D con la mayor masa (Fig. 5D). De igual forma, el contenido de masa seca mostró diferencia significativa entre los tratamientos con excepción del control y tannigel que no tuvieron diferencias significativas (Fig. 5E). El tratamiento tannigel indujo menor formación de raíces secundarias que el resto de los tratamientos, caracterizándose fundamentalmente por la categoría de pocas (Fig. 5F).

Tabla 3 Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para el suelo 1 donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.

Suelo 1	Distribución normal (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Test de Levene, Test de Bartlett)	Diferencias entre las medias poblacionales (Kruskal-Wallis, ANOVA)
Longitud de la planta	C:0,01991 T:0,0001547 C&D:0,06656 A:0,7359	0,9918	0,0001122
N° de hojas verdaderas	C:0,02971 T:0,0206 C&D:0,01647 A:0,001215	0,5133	6,057e-05
Longitud de la raíz	C: 0,09762 T: 0,1056 C&D: 0,01803 A: 0,719	0,07189	5,1e-05
Masa fresca	C:4,355e-07 T:4,529e-08 C&D:0,0005412 A:0,004035	0,3036	0,0003938
Masa seca	C:1,092e-05 T:1,028e-06 C&D:0,0008703 A:0,001438	0,06098	3,615e-09

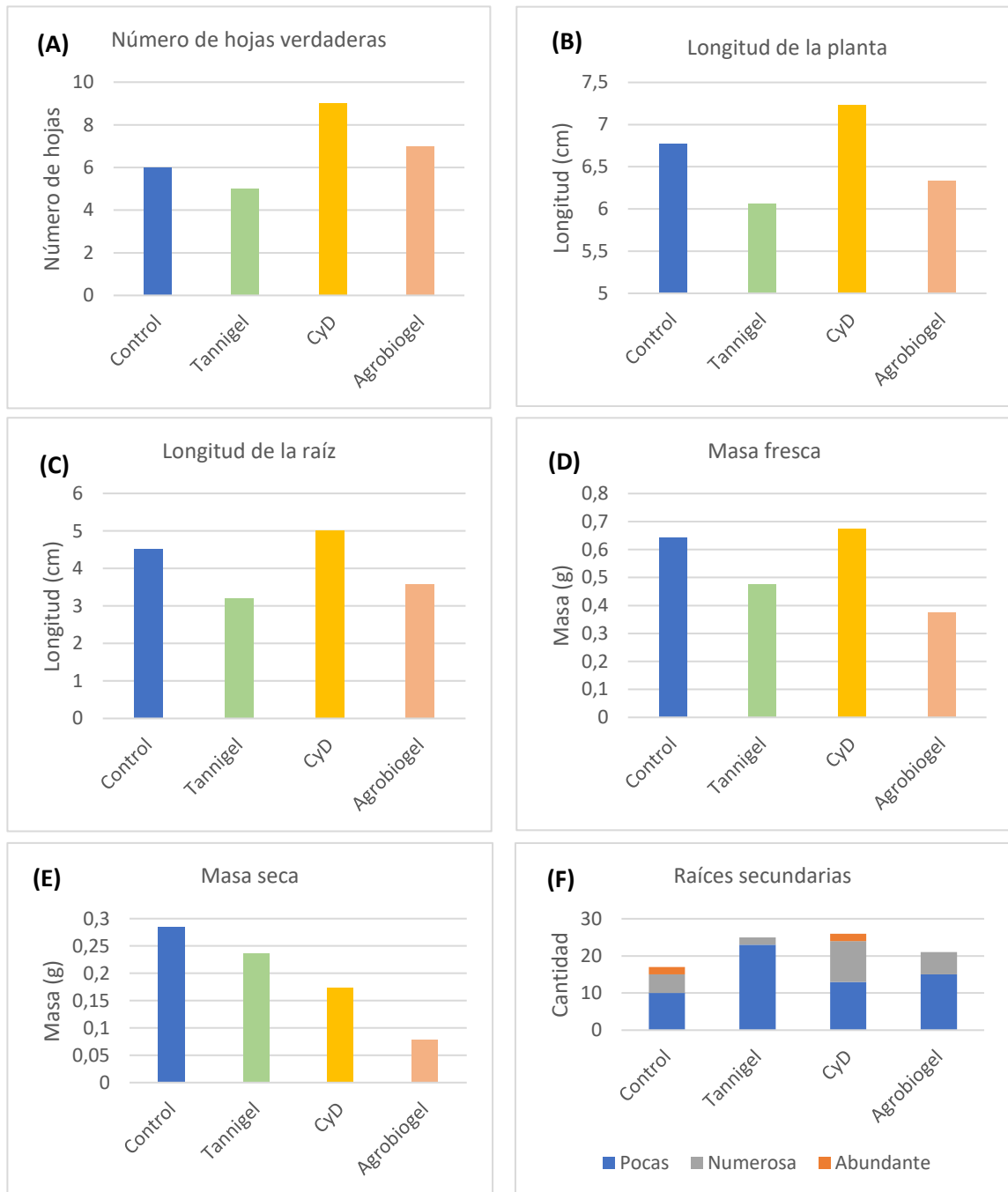


Figura 5. Efecto de distintos SABs en variables morfométricas de plántulas de *Solanum lycopersicum* sembrada en suelo 1. La $\bar{x} \pm \sigma$ se obtuvieron después de aplicar ANOVA de una vía. En el caso del gráfico (F) se utilizó la prueba de Ji cuadrado

La tasa de germinación en el suelo 2 fue del 80% para el control y 96% para agrobiogel; así como 100% para tannigel y agrobiogel (Fig. 4). Las diferencias entre los tratamientos se muestran en la tabla 4. Se observan diferencias significativas en todas las variables medidas con mostrando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En la prueba de ji-cuadrado se determinó que las variables son dependientes con un valor p de 0,0004998. El número de hojas verdaderas fue mayor en el tratamiento C&D teniendo medidas similares entre el control y agrobiogel (Fig. 6A). Las plántulas de tomate crecieron significativamente más en el tratamiento C&D que en tannigel siendo este el que presentó las menores longitudes ($p < 0,05$) (Fig. 6B). La raíz principal tuvo un crecimiento similar entre el control y C&D siendo mayores que el resto de los tratamientos ($p < 0,05$) (Fig. 6C). Al contrario, hubo diferencia entre todos los resultados respecto al contenido de masa fresca; en el tratamiento C&D se registró su mayor contenido (Fig. 6D). De igual forma, el contenido de masa seca mostró diferencia significativa entre los tratamientos con excepción de tannigel y agrobiogel que no tuvieron diferencias significativas entre ellos (Fig. 6E). El tratamiento tannigel indujo menor formación de raíces secundarias que el resto de los tratamientos, caracterizándose fundamentalmente por la categoría de pocas (Fig. 6F).

Tabla 4. Valores p de las distintas pruebas estadísticas realizadas para el suelo 2 donde se ven si hay o no diferencias significativas entre el control y el tannigel aceptando o rechazando la hipótesis nula.

Suelo 2	Distribución normal (Shapiro- Wilk)	Homocedasticidad (Test de Levene, Test de Bartlett)	Diferencias entre las medias poblacionales (Kruskal-Wallis, ANOVA)
Longitud de la planta	C: 0,2943 T: 0,419 C&D: 0,4667 A: 0,9277	0,09534	2e-16
N° de hojas verdaderas	C: 0,03117 T: 0,03472 C&D: 0,6333 A: 0,3746	0,5296	3,706e-09
Longitud de la raíz	C: 0,8027 T: 0,01406 C&D: 0,2274 A: 0,1915	0,06994	2,01e-11
Masa fresca	C: 0,6606 T: 0,07624 C&D: 0,2341 A: 0,1608	2,573e-12	2,2e-16
Masa seca	C: 0,31 T: 0,1813 C&D: 0,4106 A: 0,0807	3,843e-07	2,2e-16

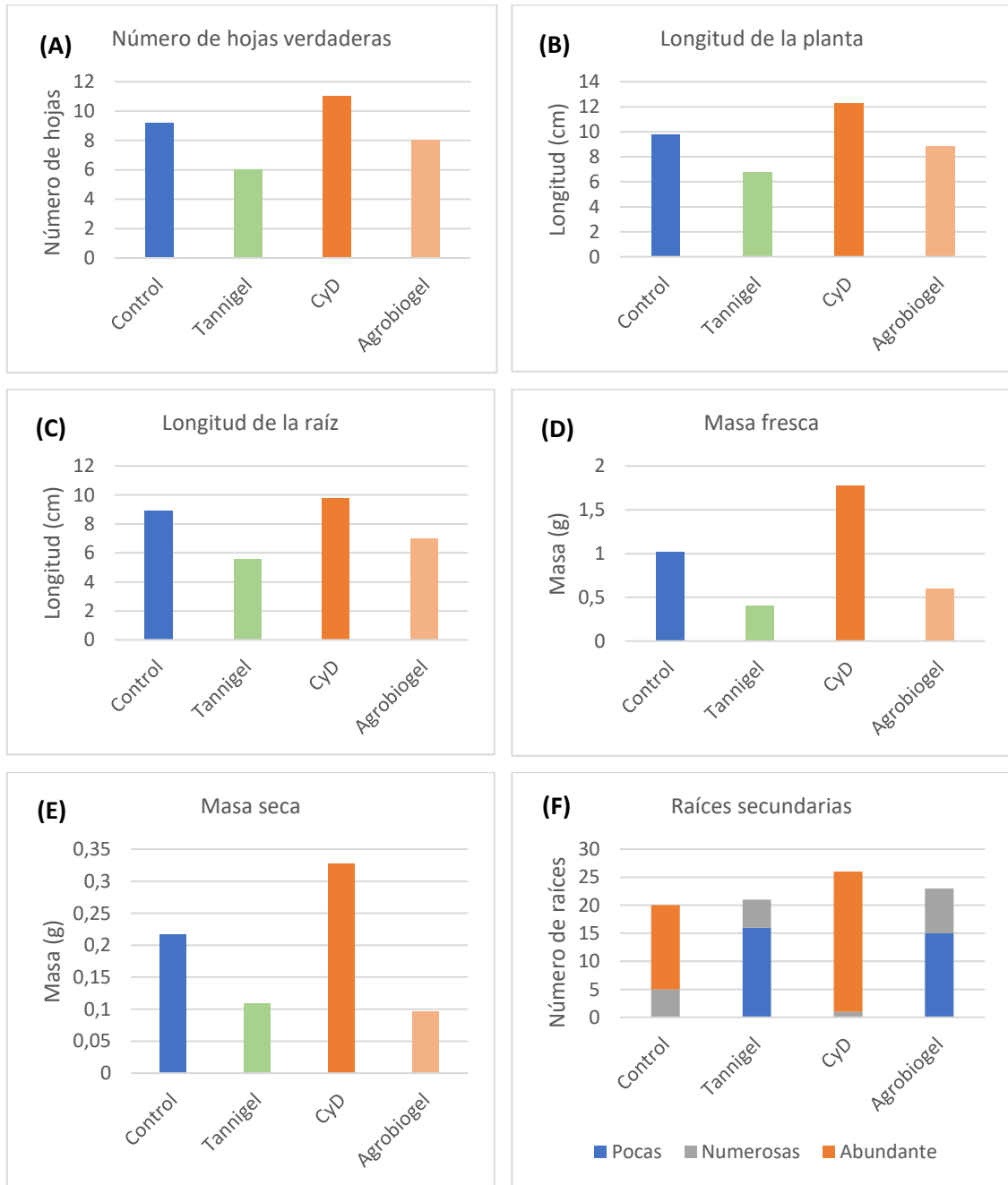


Figura 6. Efecto de distintos SABs en variables morfométricas de plántulas de *Solanum lycopersicum* sembrado en suelo 2. La $\bar{x} \pm \sigma$ se obtuvieron después de aplicar ANOVA de una vía. En el caso del grafico (F) se utilizó la prueba de Ji cuadrado.

3.3 Experimento 3: Influencia de superabsorbentes en la supervivencia del tomate al déficit hídrico

Las plantas cultivadas con aplicación de C&D y agrobiogel perecieron entre los 16 a 17 días. El control extendió la supervivencia de las plantas hasta 20 días y el tannigel hasta 25 días (Fig. 7).

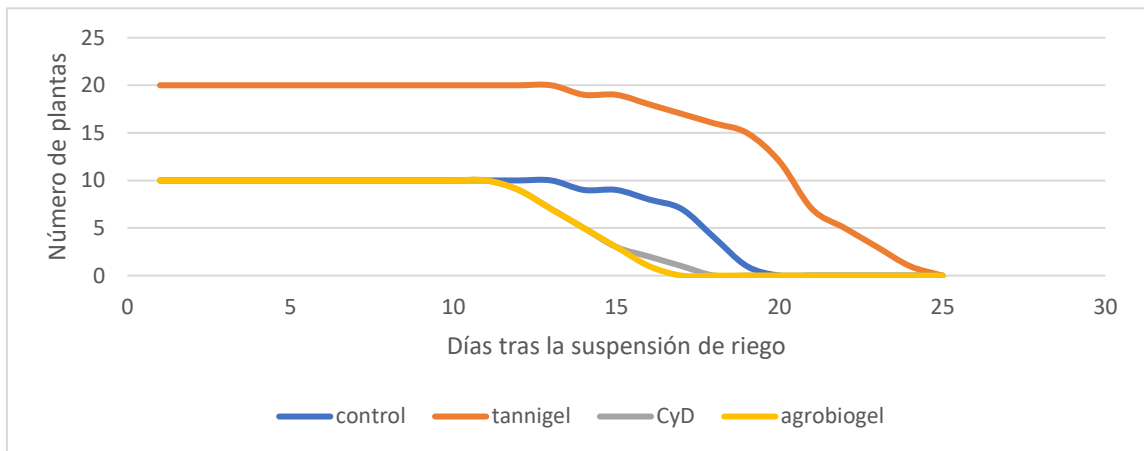


Figura 7. Comportamiento de la supervivencia de las plantas de *Solanum lycopersicum* ante diferentes SABs tras la suspensión del agua.

El orden de las secciones de izquierda a derechas son control (tratamiento uno), Taningel (tratamiento dos), C&D (tratamiento tres), Agrobiogel (tratamiento cuatro) (Fig. 8 A). En la Fig. 8 se pueden observar las plántulas de tomates durante los primeros días de haber germinado (Fig. 8A) y su estado en el momento que se suspendió en riego (Fig. 8B).

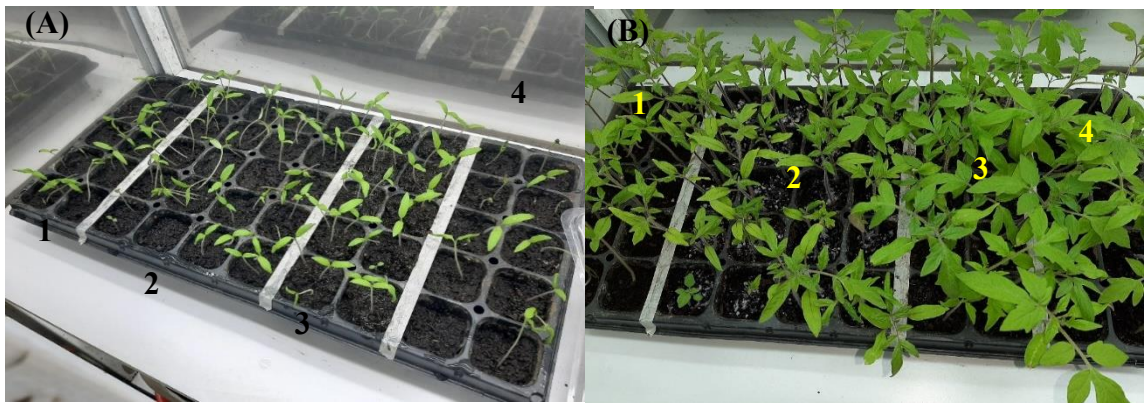


Figura 8. Plantas de tomate germinadas. Orden en la que se dispusieron las semillas en las bandejas (A) (1: Control, 2: Tannigel, 3: C&D, 4: Agrobiogel). Plantas de tomate en el último día de riego donde se muestra la longitud alcanzada por las plantas (B)

A partir de los 11 días de suspendido el riego se comenzó a notar una tonalidad amarilla en las hojas, síntomas de déficit hídrico (nivel 1). En los tratamientos 3 y 4 se notó marchitez de las plantas (Fig. 9).

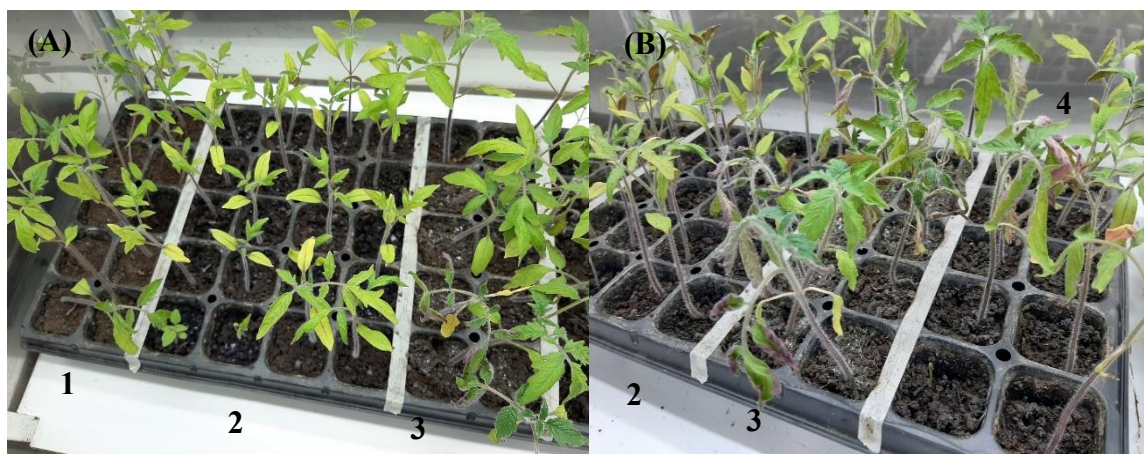


Figura 9. Plantas de tomate muestran primeros síntomas déficit hídrico. 1: Control, 2: Tannigel, 3: C&D, 4: Agrobiogel.

A los 13 días de suspendido el riego, la marchitez se intensificó notablemente en los tratamientos tres y cuatro (Fig. 10A) (nivel 2 en tratamiento 3); observándose que las plantas perdieron la turgencia. Progresivamente, a los 15 días las plantas de los tratamientos 3 y 4 transitaron a nivel 3.

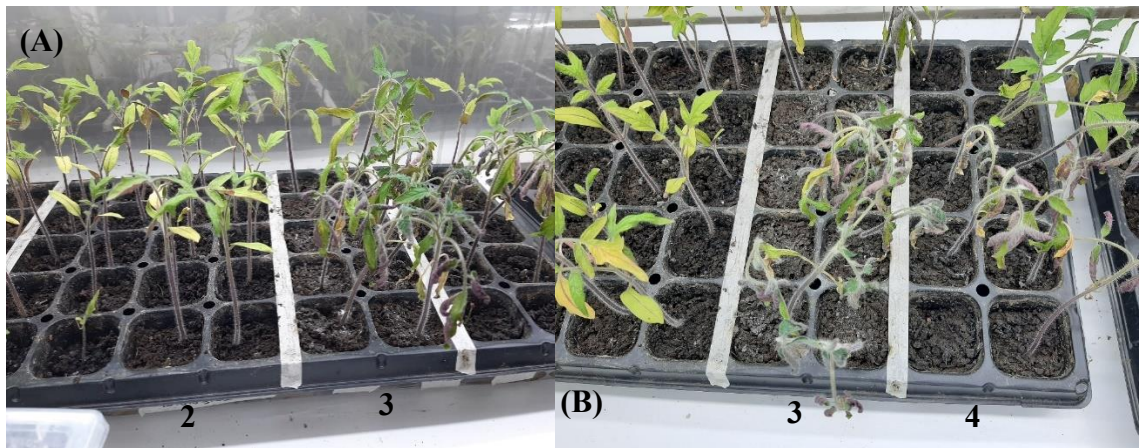


Figura 10. Plantas de tomate donde se observa una marchitez de nivel 2 en tratamiento 3 (A) y transición de esos tratamientos a nivel 3 dos días más tarde (B). 1: Control, 2: Tannigel, 3: C&D, 4: Agrobiogel.

Los tratamientos 1 y 2 comenzaron a mostrar a marchitez nivel 1 más intensamente a los 13 días de suspendido el riego (Fig. 11A). Tres días después, los tratamientos 3 y 4 transitaron al último nivel de marchitez (nivel 3) (Fig. 11B).

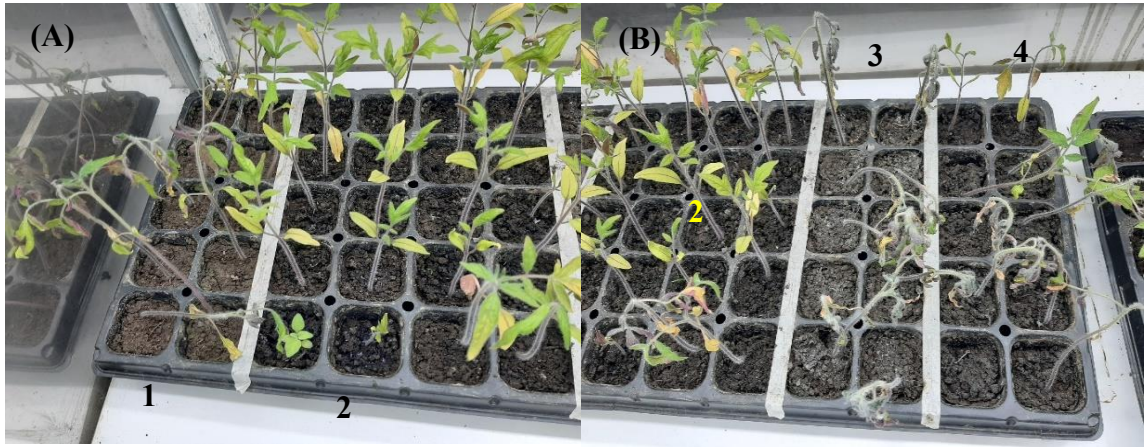


Figura 11. Tratamientos 1 y 2 que se encuentran en nivel 1 de marchitez con algunas plantas de tomate entrando a nivel 2 (A). Marchitez nivel 3 de los tratamientos 3 y 4.

Después de 17 días de suspendido el riego, el control pasó a nivel 2 de marchitez y algunas plantas a nivel 3 (Fig 12A). El tratamiento 2 (tannigel) mantuvo su población de plantas en nivel 1 (Fig.12B).

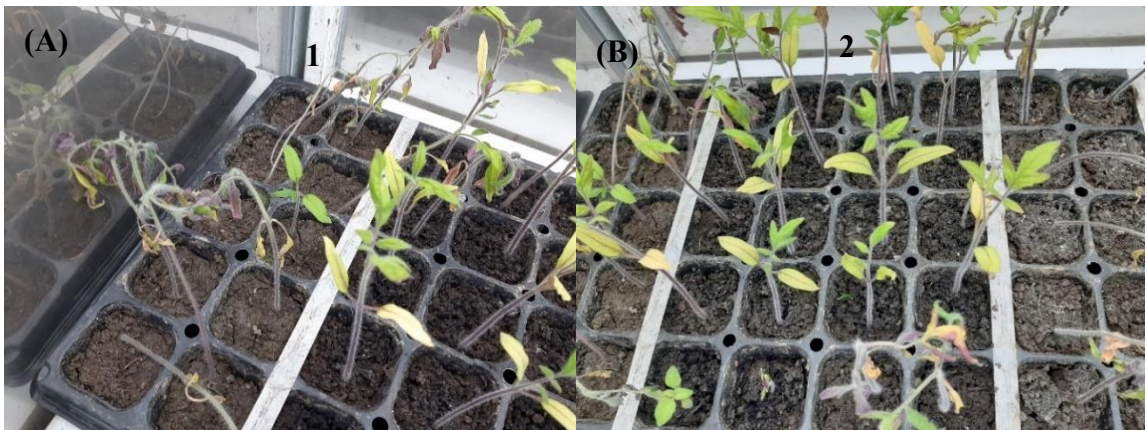


Figura 12. Niveles de marchitez en tomate en los diferentes tratamientos a los 17 días de suspendido el riego. A1 (control, nivel 2 y 3), B2 (tannigel, nivel 1).

A los 19 días de suspendido el riego, el control transitó a nivel 3 de marchitez y el 50% de las plantas del tannigel pasaron a nivel 2. (Fig. 13A). A los 25 días de suspendido el riego, las todas las plantas del tannigel transitaron a nivel 3 de marchitez, al igual que ya estaban las plantas del resto de los tratamientos (Fig. 13B).

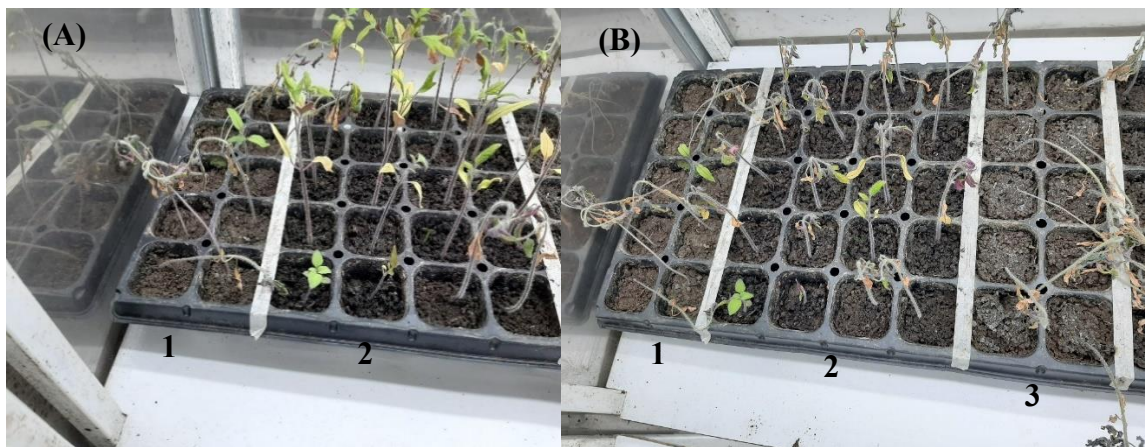


Figura 13. Plantas de tomate cultivadas en control en nivel 3 de marchitez (A1) y tannigel a nivel 2 (A2). Todos los tratamientos en nivel 3 de marchitez (B) a los 25 días de suspendido el riego.

IV. DISCUSIÓN

El desarrollo eficiente de la agricultura es muy importante, por lo que la búsqueda de alternativas que contribuyan a utilizar racionalmente los recursos involucrados en el sector agrícola es relevante. Dentro de dichas alternativas se pueden mencionar estudios como el uso de elementos orgánicos como la harina de hueso de pollo (David *et al.* 2020) o de agroquímicos de liberación controlada o lenta y los superabsorbentes (Milani *et al.* 2017). En este estudio, se puso a prueba una nueva propuesta de superabsorbente (SAB) denominado tannigel, constituido principalmente por una mezcla de biopolímeros provenientes de la carboximetilcelulosa e hidroxietilcelulosa (CMC/HEC), la cual cumple la función de otorgar hidrofiliidad y biodegradabilidad, así como de ácido tánico (AT) que otorga tenacidad. Tales materiales garantizan alta biodegradabilidad, bioactividad y biocompatibilidad (Demitri *et al.* 2013).

Estos fueron los primeros experimentos que se llevaron a cabo con tannigel, cuando todavía no se había realizado una optimización de dosis. Sin embargo, era necesario ejecutar los diferentes experimentos contemplados en el presente estudio para tener puntos de referencias hacia donde orientar la dosis. Además, observarse los primeros efectos de este superabsorbente natural sobre dos de las especies de hortalizas más cultivadas y consumidas en el mundo: lechuga y tomate (Viteri *et al.* 2013).

Inicialmente lo más relevante consistió en demostrar que la germinación ocurrió de forma normal con tannigel, e incluso se observó un relativo estímulo en la velocidad germinativa, esto se ve apoyado por un estudio similar que se realizó sobre hidrogeles poliméricos como reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate donde se obtuvo casi el 100% de la germinación en los tratamientos que tenían mayor concentración del hifrogel (De Gascue *et al.* 2006). Al realizarse una integración de los resultados morfométricos en los diferentes experimentos, se reveló que tannigel a la concentración o dosis utilizada no fue capaz de ejercer efectos superiores al control y al resto de los SABs. Particularmente y de manera muy discreta, la lechuga mostró mejor respuesta en tannigel que el tomate. Se esperaba que los demás SABs (C&D, agrobiogel) pudieran tener mejor desempeño que tannigel, debido a la mayor absorción de agua de los hidrogeles sintéticos (Qureshi *et al.* 2020), que fueron para C&D $307,1 \pm 8.5$ y Agrobiogel $116,8 \pm 14.4$ frente a Tannigel $215,0 \pm 3.7$. Sin embargo, todos los SABs se aplicaron a una misma dosis, la que consistió en una dosis de referencia de uno de los SABs utilizados. Eso indica que debido a la menor capacidad de absorción de agua del tannigel como hidrogel natural, lo más probable es que un incremento de la dosis pudiera ejercer efectos más favorables sobre las variables morfométricas evaluadas. Ejemplo de esto se puede ver en un experimento realizado sobre un hidrogel a base de un alga marina (*Ulva lactuca*) aplicado en lechuga donde se usaron concentraciones de 2, 4 y 6 g de gel teniendo mejores resultados en las lechugas con 6 g del gel

(Uriarte y Loriane 2019). Aun así, dentro de las investigaciones que ellos realizaron encontraron otro ensayo que demostró que no siempre la dosis más alta da los mejores resultados por lo que es importante realizar pruebas con tannigel específicas para encontrar la dosis óptima que entregue mejores resultados. Otra experiencia probó que al liofilizar o secar en horno un hidrogel, específicamente uno a base de nanocelulosa, se obtuvo una retención mayor de agua en el suelo, esta se incrementó debido a que aumentó la porosidad del gel (Barajas-Ledesma *et al.* 2022).

A pesar de lo antes expuesto, el tercer experimento ofreció una información sorprendente y alentadora. Las plantas de tomate fueron capaces de sobrevivir por un periodo más prolongado en tannigel que en el control y que en el resto de los tratamientos. Esto indicó que los demás SABs sintéticos pudieron retener más agua, pero al parecer el agua se fue liberando hasta llegar a un punto de quedar fuertemente retenida y no fue cedida, aunque las plantas hayan ejercido tensión sobre las moléculas de agua para ser absorbidas. En cambio, el tannigel se fue degradando relativamente más rápido, pero aparentemente no retuvo tan fuertemente las moléculas de agua y las plantas pudieron continuar absorbiéndola mientras éste superabsorbente mantuvo actividad de absorción y desorción. En un estudio donde se analizó nanocelulosa carboxilada como SAB se evaluaron ciertos puntos que podrían explicar y ser un punto de análisis de lo porque la rápida degradación de tannigel, estos puntos fueron la tasa de

respiración donde a mayor aplicación más actividad microbiana por ende más respiración. El efecto de fertilizantes aplicados, ya que, al existir más materia orgánica en el sustrato, aumenta la proliferación microbiana que a su vez acelera la descomposición del SAB. La influencia de humedad y temperatura y el efecto de la porosidad del SAB facilita la difusión de oxígeno y la permeabilidad al aire, lo que promueve aumento en la biomasa microbiana (Barajas-Ledesma *et al.* 2022).

En la práctica se demostró que el tannigel desapareció visualmente de la superficie del suelo entre los 10 a 12 días, por lo que en ese periodo hubo que realizar nuevas aplicaciones. En el experimento de Barajas-Ledesma (2022) tuvieron hasta 30 días de exposición del SAB que utilizaron; esto lo relacionaron con la cantidad de biomasa microbiana del sustrato. Los otros SABs del presente estudio se mantuvieron visualmente, pero se notó alteraciones progresivas en su apariencia física y su desempeño, lo que quedó evidenciado en el experimento 3 y especialmente con el SAB C&D que dejó una especie de “costra” del polímero en la superficie del sustrato. Este efecto favorable del tannigel es muy importante, pues si experimentos posteriores de optimización garantizan que haya mejoría en las respuestas morfométricas de las plantas cultivadas con aplicaciones de tannigel, podrían posicionar muy favorablemente a este superabsorbente como iniciativa para racionar y optimizar el agua de riego.

Es imprescindible resaltar que los tratamientos con SABs recibieron 50% menos de agua que el control. Esto sugiere que en un sistema productivo donde haya limitaciones de dicho recurso, se pudiera cultivar lechuga y tomate con aplicaciones de estos SABs aunque el rendimiento sea menor que en condiciones ideales con riegos óptimos. No obstante, sería una manera de obtener al menos ciertos niveles de biomasa importantes desde el punto de vista alimentario. El desafío de las investigaciones futuras con tannigel es tratar de superarse los resultados que se obtuvieron con los demás SABs e incluso con el control. Al mismo tiempo, es atractivo intentar incluir en la formulación de tannigel fitohormonas que contribuyan a estimular la división y/o alargamiento celular, y por tanto la formación de biomasa un ejemplo de esto es el experimento de Tiftonell (2003) que usó un polímero adicionado es una mezcla de copolímeros entrelazados de propenamida-propeonato, adicionado con precursores orgánicos e inorgánicos de vitaminas y hormonas vegetales, fertilizantes minerales sintéticos de liberación lenta, fertilizantes orgánicos sintéticos y arenas de dióxido de silicio donde obtuvieron resultados positivos en algunos de sus ensayos. También es necesario hacer alusión a que los dos tipos de suelos utilizados en el experimento 2, a pesar de tener algunas diferencias en determinados componentes fundamentalmente químicos (Aguilera *et al.* 2023), no ejercieron tendencias marcadas en relación con el desempeño de los SABs. Sin embargo, es necesario que los SABs se prueben en diferentes tipos de suelos y sustratos; pues sin lugar a dudas, la efectividad de los SABs va a estar muy

relacionada con las características físicas, químicas y biológicas de los suelos y sustratos (Isuiza y Kalena 2022).

V. CONCLUSIONES

- 1) Los superabsorbentes estudiados no afectaron el proceso germinativo de las hortalizas olerícolas *L. sativa* y *S. lycopersicum*.
- 2) El tannigel a la dosis utilizada en los diferentes experimentos, indujo un menor desempeño de las variables morfométricas que el control y el resto de los SABs.
- 3) Una vez suspendido el riego, las plántulas de tomate sobrevivieron durante más tiempo en el tratamiento con tannigel que en el control y que en el resto de los SABs.
- 4) A pesar de que la mayoría de las variables morfométricas revelaron que el control indujo mejores respuestas que los SABs, es relevante destacar que las plantas obtenidas en los tratamientos con SABs solamente recibieron el 50% del agua que se aplicó en el control. Esto vislumbra que con la aplicación de SABs, existe la posibilidad de establecer sistemas de producción de lechuga y tomate en lugares donde el recurso agua no sea suficientemente abundante para cultivos tan exigentes como dichas hortalizas.

5) Estos resultados constituyen base y referencia para la realización de nuevos experimentos orientados a la optimización de dosis, momentos de aplicación, relación de tannigel con el tipo de suelo y posible incorporación de fitohormonas a la formulación de este SAB, entre otros elementos. También es necesario realizar pruebas de campo para observar el comportamiento de tannigel ante variables bióticas y abióticas imperantes en los sistemas productivos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera N., L. Guedes, U. Alvarado, K. Sáez-Carrillo. 2023. Teline monspessulana Can Harm the Chilean Native Tree *Nothofagus obliqua*: Effects on Germination and Initial Growth. *Plants*. *Pants* 12: 3419.
2. Ahmed E.M. 2015. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research* 6(2): 105-121.
3. Barajas-Ledesma R.M., V.N. Wong, K. Little, A.F. Patti, G. Garnier. 2022. Carboxylated nanocellulose superabsorbent: Biodegradation and soil water retention properties. *Journal of Applied Polymer Science* 139(3): 51495.
4. Behera S., P.A. Mahanwar. 2020. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59(4): 341-356.
5. Clemmens A., D. Molden. 2007. Water uses and productivity of irrigation systems. *Irrigation science* 25: 247-261.
6. David J., S. Mondragón, R. Valles. 2020. Determinación del efecto de la harina de hueso de pollo de los residuos sólidos orgánicos comerciales en el desarrollo de la biomasa del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), en la ciudad de Moyobamba, 2018.
7. De Fraiture C., D. Wichelns. 2010. Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management* 97(4): 502-511.
8. De Gascue B.R., M. Ramírez, R. Aguilera, J.L. Prin, C. Torres. 2006. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 7(3): 199-210.

9. Demitri C., F. Scalera, M. Madaghiele, A. Sannino, A. Maffezzoli. 2013. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. International Journal of Polymer Science 2013.
10. FAO. 2019. Water Scarcity – One of the Greatest Challenges of Our Time. Article of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy. Citado Disponible en
11. INIA. 2018. Riego en la producción de hortalizas en pequeños productores de la provincia Elqui: experiencias y resultados. Citado Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6817/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20390?sequence=1>.
12. Isuiza F., W. Kalena. 2022. Determinar el efecto de dos niveles de enmienda orgánica (Biomasa de repollo) y sistemas de cultivos hortícolas en la calidad del suelo.
13. Milani P., D. França, A.G. Balieiro, R. Faez. 2017. Polymers and its applications in agriculture. Polímeros 27: 256-266.
14. ODEPA. 2021. Boletín de hortalizas, agosto 2021. Citado Disponible en <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-agosto-2021>
15. Qureshi M.A., N. Nishat, S. Jadoun, M.Z. Ansari. 2020. Polysaccharide based superabsorbent hydrogels and their methods of synthesis: A review. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications 1: 100014.
16. Singh P., P. Deshbhratar, D. Ramteke. 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management 103: 100-104.
17. Tittonell P., J. De Grazia, A. Chiesa. 2003. Emergencia y tasa de crecimiento inicial en plantines de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivados en sustratos adicionados con polímeros superabsorbentes. Revista Ceres 50(291): 659-668.

18. Uriarte R., E. Loriane. 2019. Ensayo de la determinación de retención de agua en un cultivo de rabanito utilizando un polímero retenedor (aquagel).
19. Viteri M., G. Ghezán, D. Iglesias. 2013. Tomate y Lechuga: producción, comercialización y consumo. Estudio socioeconómico de los sistemas agroalimentarios y agroindustriales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina, 13 pp.
20. Yazici B., H. Taner. 2023. Water reuse in agriculture: a case study in Konya Closed Basin. *Water Supply* 23(3): 1106-1114.
21. Zhang D., P. Guo. 2016. Integrated agriculture water management optimization model for water saving potential analysis. *Agricultural Water Management* 170: 5-19.
22. Zohourian M.M., K. Kabiri. 2008. Superabsorbent polymer materials: a review.