

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

**"Propagación por esqueje de tomate cherry negro (*Solanum lycopersicum*  
var. *Kumato*) bajo invernadero"**

Opción de Titulación  
**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Licenciado en  
Ingeniería Agroindustrial

**Presenta:**

Josué Daniel Hernández Vega

**Dirigido por:**

Dra. Rosario Guzmán Cruz

Dra. Rosario Guzmán Cruz  
Presidente

Firma

Dra. Ixchel Parola Contreras  
Secretario

Firma

Dr. Ramón Guevara González  
Vocal

Firma

Dr. Humberto Aguirre Becerra  
Suplente

Firma

Campus Amazcala

El Marqués, Qro.

Fecha 18 de mayo de 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



Propagación por esqueje de tomate cherry negro  
(*Solanum lycopersicum* var. Kumato) bajo invernadero

**por**

Josué Daniel Hernández Vega

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0  
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Clave RI:** IGLIN-143868

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi asesora de tesis, los sinodales y profesores por su apoyo en la revisión y las asesorías a lo largo de la elaboración del proyecto presente, así como todos sus aportes y consejos en mi formación profesional y humana.

Agradezco también a mi familia por su apoyo y tolerancia en todos estos años que, aunque no siempre hemos compartido los mismos puntos de vista, al menos hemos logrado llegar al acuerdo en el desacuerdo.

Y por supuesto, le estaré muy agradecido con mis amistades, compañeros y conocidos con los que he coincidido en algún punto en el tiempo. Espero que el haber compartido un consejo, una perspectiva, una bebida o hasta una simple carcajada haya sido provechoso en ambos sentidos, y haya ayudado a enfrentar las complicaciones en este camino a ningún lugar llamado vida.

## **Dedicatoria**

A todas aquellas personas que han sido marginadas de alguna manera por el mundo en el que vivimos. Todos nosotros vivimos la resiliencia y todos los aprendizajes. Jamás seremos doblegados, porque en nosotros reside la férrea esperanza de un nuevo amanecer.

A todas aquellas personas inconformes con el *status quo*, que comprenden los procesos humanos e intentan mejorar el entorno. A aquellos que se empeñan en ver fuera de la caja y buscan la construcción de nuevas realidades.

A todos aquellos que han hecho de la resistencia un modo de vida.

## RESUMEN

El tomate es una fruta que se cultiva por los aportes nutricionales del tomate a la salud humana. México es uno de los principales productores de tomate rojo a nivel mundial. Por su parte, la variedad Cherry representa estabilidad por su valor comercial. Uno de los elementos clave para la producción intensiva de tomate, es la obtención de plántulas de jitomate sanas. El propósito de este trabajo es identificar y establecer las bases para la producción de plántula de tomate cherry negro a partir de esquejes que iguallen el desempeño de plántulas generadas a partir de semilla. La planta madre fue tratada con dos sustancias bioestimulantes desde su germinación, Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ) y Giberelinas (GB), además del tratamiento de Control (CTRL), Se midieron las variables de la parte aérea como la altura del ápice y diámetro de la base de los esquejes, y la biomasa desarrollada en la parte foliar y Tasa de Supervivencia (TS). En la parte radicular de la planta se determinó porcentaje de Materia Seca de la Raíz (MSr) y el Índice de Biomasa de la Raíz (IBr). Los resultados de las mediciones de los esquejes enraizados (TS, MSr, IBr, altura del ápice y ancho de la base de los esquejes) no tuvieron diferencia significativa entre los tratamientos con respecto a los tratamientos desde la germinación de la planta madre. Los análisis de resultados de los esquejes enraizados entre ellos marcaron diferencias significativas entre el diámetro y altura de plántula con la prueba de Tukey. Estos resultados resaltan la importancia de las mediciones morfológicas, que mostraron mayor biomasa generada en las plántulas obtenidas a partir de esquejes, lo que plantea un potencial método de obtención de plántulas que no dependan de la semilla.

**Palabras clave:** Esquejes, semillas, tomate cherry negro, producción

## **SUMMARY**

Tomato is a fruit that is cultivated for the nutritional contributions of tomatoes to human health. Mexico is one of the main producers of red tomatoes worldwide. For its part, the Cherry variety represents stability due to its commercial value. One of the key elements for intensive tomato production is obtaining healthy tomato seedlings. The purpose of this work is to identify and establish the bases for the production of black cherry tomato seedlings from cuttings that match the performance of seedlings generated from a seed. The mother plant was treated with two biostimulant substances from its germination, Potassium Nitrate (KNO<sub>3</sub>) and Gibberellins (GB), in addition to the Control treatment (CTRL). The variables of the aerial part were measured, such as the height of the apex and diameter of the base of the cuttings, the biomass developed in the foliar part, and the Survival Rate (TS). In the root part of the plant, the percentage of Root Dry Matter (DMr) and the Root Biomass Index (IBr) were determined. The results of the measurements of the rooted cuttings (TS, MSr, IBr, height of the apex, and width of the base of the cuttings) showed no significant difference between the treatments with respect to the treatments from the germination of the mother plant. The analysis of the results of the rooted cuttings between them marked significant differences between the diameter and height of the seedling with the Tukey test. These results highlight the importance of morphological measurements, which showed higher biomass generated in seedlings obtained from cuttings, which suggests a potential method for obtaining seedlings that do not depend on the seed.

**Keywords:** Cuttings, seed, black cherry tomato, production.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	13
1.1.	Importancia económica del Tomate Cherry Negro en el Mercado Mundial y Nacional.....	13
1.2.	Particularidades del Tomate Cherry Negro .....	15
2.	MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES .....	16
2.1.	Generalidades del tomate tipo cherry negro ( <i>Solanum Lycopersicum</i> )....	16
2.1.1.	Origen y Distribución .....	16
2.1.2.	Clasificación Taxonómica .....	16
2.1.3.	Características Morfológicas .....	17
2.1.4.	Requerimientos del Cultivo .....	23
2.1.5.	Manejo cultural .....	24
2.2.	Técnicas de propagación de tomate .....	26
2.2.1.	Propagación Sexual.....	26
2.2.2.	Propagación Asexual.....	27
2.2.3.	Propagación por Cultivo in Vitro .....	27
2.2.4.	Propagación por Injerto .....	28
2.2.5.	Propagación por Esqueje .....	28
2.3.	Factores que afectan el enraizamiento de esquejes .....	28
2.3.1.	Factores del Entorno .....	29
2.3.2.	Factores biológicos.....	29
2.4.	Reguladores de Crecimiento.....	30
3.	HIPOTESIS Y OBJETIVOS.....	32
3.1.	Hipótesis .....	32
3.2.	Objetivo general .....	32
3.3.	Objetivos específicos .....	32
4.	METODOLOGÍA .....	33
4.1.	Localización .....	33
4.2.	Material Vegetal .....	34
4.2.1.	Plantas Germinadas .....	34
4.2.2.	Obtención de Esquejes.....	36

4.3.	Tratamientos y Diseño Experimental.....	38
4.4.	VARIABLES DE CRECIMIENTO VEGETAL EVALUADAS .....	40
4.4.1.	Porcentaje de Esquejes Enraizados .....	40
4.4.2.	Parte Aérea .....	40
4.4.3.	Parte Radicular.....	40
4.5.	Análisis estadístico.....	40
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1.	Plántula originada por semilla .....	41
5.2.	Plántula generada a partir de esquejes.....	43
5.2.1.	Porcentaje de Esquejes Enraizados .....	43
5.2.2.	Parte Aérea .....	44
5.2.1.	Parte Radicular .....	55
5.3.	Análisis general de los esquejes .....	58
6.	CONCLUSIONES .....	63
7.	APÉNDICE .....	64
7.1.	Cualidades Físico-Químicas .....	64
7.1.1.	Peso de fruto .....	64
7.1.2.	Tamaño del fruto.....	64
7.1.3.	Total de Sólidos Suspendidos .....	64
7.1.4.	Color de piel.....	64
7.1.5.	Acidez titulable.....	64
7.1.6.	pH.....	65
7.2.	Compuestos Fitoquímicos.....	65
7.2.1.	Polifenoles .....	65
7.2.2.	Flavonoides .....	66
7.2.3.	Carotenoides .....	66
7.2.4.	Antocianinas .....	66
7.3.	Actividad antioxidante .....	67
7.3.1.	DPPH.....	67
7.3.2.	ABTS .....	68
7.4.	Actividad enzimática específica .....	68
7.4.1.	Superóxido dismutasa-(SOD) .....	68

7.4.2. Catalasa (CAT) .....	68
7.4.3. Prolina (PRO) .....	69
7.4.4. Fenilalanina amoníaco-liasa (PAL) .....	69
7.5. Resultados .....	69
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## Índice de Figuras

Figura 1: Semillas de tomate cherry negro sumergidas en una solución que promueve la germinación de los embriones.....	17
Figura 2: Plántula de tomate, las raíces adventicias se han desarrollado tanto que han sustituido casi todo el almacigo dónde se puso a crecer. ....	18
Figura 3: Simpodio de una planta de tomate cherry negro. Se puede apreciar la inflorescencia que va desarrollándose, las tres hojas que lo componen y brotes nuevos en cada hoja que generarán nuevos simpodios sin la poda adecuada. ....	19
Figura 4: A) Planta de tomate donde se puede apreciar el tallo principal, las hojas, y los racimos que se irán desarrollando, así como algunos brotes axilares. B) Brotes axilares más fácilmente distinguibles en la parte superior de las hojas. ....	20
Figura 5: Hoja de tomate cherry negro. Las coloraciones púrpuras que tiene la hoja se le atribuye a los compuestos antioxidantes que le dan su color al fruto. ....	21
Figura 6: A) Flor del tomate negro. B) Un racimo de tomate en el que se puede observar distintas etapas del desarrollo de la flor hacia frutos maduros. C) Racimo de tomate ya casi en estado de madurez, que se puede apreciar en los tonos rojizos. ....	22
Figura 7: A) Fruto de tomate en estado de madurez, se puede determinar por los tonos rojizos. B) Corte transversal de un fruto de tomate cherry negro. ....	23
Figura 8: Vista frontal de la pared norte del invernadero estilo gótico a una nave, al centro se encuentra la entrada de puerta sencilla.....	33
Figura 9: Cultivo de tomate trasplantado al invernadero después de 28 días después de su siembra. De este cultivo se obtuvieron los esquejes. .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 10: Esqueje de tomate listo para la solución enraizadora y su futura colocación en el sustrato. Se puede apreciar el corte a 45°.....	37
Figura 11: Caja con 18 esquejes de tomate enterrados en diferentes proporciones. El orden corresponde al establecido en el Diseño Experimental. ....	38
Figura 12: Diseño completamente al azar del acomodo de los esquejes.....	39
Figura 13 Resultados de los brotes de semilla con pre-tratamientos embebidos de GBL, KNO <sub>3</sub> y Control a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los brotes. B) Alturas de los brotes. ....	42
Figura 14: Resultados obtenidos a partir del tratamiento previo de GBL, y sus mediciones a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los esquejes. B) Alturas de los esquejes.....	45
Figura 15: Resultados obtenidos a partir del tratamiento previo de KNO <sub>3</sub> , y sus mediciones a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los esquejes. B) Alturas de los esquejes.....	49
Figura 16: Resultados obtenidos a partir del tratamiento previo de CTRL, y sus mediciones a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los esquejes. B) Alturas de los esquejes.....	53

Figura 17: Resultados de la medición del porcentaje de materia seca de la biomasa generada a partir de los esquejes enterrados en las tres proporciones. ....	56
Figura 18: Resultados del conteo de biomasa generada a partir de los esquejes enterrados en las tres proporciones. Tabla 15: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo del Índice de Biomasa de la Raíz de los esquejes. ....	57
Figura 19: A) Resultados de los diámetros de todos los esquejes durante las seis semanas de experimentación. B) Resultados de las alturas de todos los esquejes en el mismo periodo de tiempo. ....	61

## Índice de Tablas

Tabla 1: Composición garantizada en porcentaje del enraizador Proroot .....	31
Tabla 2: Formulación de la solución nutritiva Steiner utilizada en cada etapa fenológica del cultivo de tomate cherry negro. El Volumen total de la solución nutritiva fue de 5,000 L. Cada compuesto se presenta en kg. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 3: Valores de la biomasa obtenidos en plántulas desarrolladas a partir de semilla, con sus tratamientos embebidos. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).....	43
Tabla 4: Porcentaje de esquejes sobrevivientes a cada tratamiento experimental planteado, agrupado con el tratamiento previo correspondiente. La columna S se refiere al número de semana en que se hizo la medición. ....	43
Tabla 5: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Giberelinas. ....	46
Tabla 6: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Giberelinas. ....	46
Tabla 7: Diámetros y alturas obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Giberelinas. La columna S se refiere al número de la Semana correspondiente. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). ....	47
Tabla 8: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Nitrato de Potasio. ....	50
Tabla 9: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Nitrato de Potasio. ....	50
Tabla 10: Diámetros y alturas obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Nitrato de Potasio. La columna S se refiere al número de la Semana correspondiente Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). ....	51
Tabla 11: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Control... ..	54
Tabla 12: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Control.....	54
Tabla 13: Diámetros y alturas obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Control. La columna S se refiere al número de la Semana correspondiente Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).....	55
Tabla 14: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo del porcentaje de Materia Seca de la Raíz de los esquejes. ....	57
Tabla 15: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo del Índice de Biomasa de la Raíz de los esquejes.....	58

Tabla 16: Valores del Porcentaje de Materia Seca de la Raíz e Índice de Biomasa de la Raíz obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).....	58
Tabla 17: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de todos los esquejes .....	59
Tabla 18: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de todos los esquejes. ....	59
Tabla 19: Resultados de las cualidades físico-químicas del tomate cherry negro.	69
Tabla 20: Resultados de las lecturas espectrofotométricas del tomate cherry negro.....	70

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate es una fruta autóctona del continente americano. Su función no se limita únicamente como alimento, ya que es el sistema biológico más estudiado, siendo la vanguardia en la investigación biológica y mejoramiento genético de la familia Solanácea. Ha sido modelo para el desarrollo de técnicas como el fitomejoramiento con el fin de obtener variedades más productivas, así como cultivos más resistentes al entorno. Paralelamente también se usa en los estudios genéticos que ayudan a afinar herramientas que nos permiten comprender los cambios en los seres vivos ante diversos cambios durante el paso de los años, a nivel del código genético (Li et al., 2018). Diferentes estudios señalan un pequeño fruto rojo silvestre como el ancestro genético del tomate, *Solanum pimpinellifolium* L., que habita desde el trópico ecuatoriano al desierto peruano y se destaca por tener una fuerte resistencia al estrés ambiental y aún próspera en este sitio. Posteriormente en la región conocida como Mesoamérica, después de un largo proceso de domesticación, se obtuvo una fruta alargada y roja, ya asociada al tomate actual, *Solanum lycopersicum* L. var. *Cerasiforme*. Todo el proceso de domesticación implica un fuerte cambio en una gran cantidad de fenotipos, desde la floración hasta el contenido de nutrientes, pasando por la sensibilidad a la duración del día, el cuajado y el tamaño de la fruta, la sincronía de maduración y el contenido de nutrientes (Li et al., 2018; Razifard et al., 2020).

### 1.1. Importancia económica del Tomate Cherry Negro en el Mercado

#### Mundial y Nacional

El tomate, tanto su producción como su consumo, ha manifestado importantes cambios en los últimos años, principalmente a la demanda del producto, su disponibilidad en fresco y su vida de anaquel, así como el desarrollo tecnológico que conlleva.

En el año 2020 hubo una producción total de 186.8 millones de toneladas de tomate alrededor del planeta, con una superficie cosechada superior a los cinco millones de hectáreas. China se destacó como el mayor productor a nivel mundial

(34.6% de la producción mundial), pero al mismo tiempo el mayor consumidor. México se colocó en la novena posición de países productores con 4,137,342 toneladas cosechadas (2.2%), pero al mismo tiempo se colocó como el mayor exportador en el mundo, logrando satisfacer con 1.8 millones de toneladas la demanda de tomate de Estados Unidos (FAOSTAT, 2021).

Para México, el tomate es el cuarto producto agrícola de mayor importancia, con un valor de 31.68 millones de pesos. Este fruto tuvo una producción máxima histórica de 3.78 millones de toneladas en 2018, con un valor en la producción de 24.96 millones de pesos (AMHPAC, 2021). Las sequías y el fenómeno provocado por la pandemia de Covid-19 invirtieron esa tasa de crecimiento hasta en -1.3%, principalmente por la reducción de la mano de obra, pero aún se logra satisfacer la demanda nacional e internacional (SIAP, 2021). De la producción nacional, los principales estados productores fueron San Luis Potosí (17.2 %), Zacatecas (10.8 %), Michoacán (9 %), Jalisco (7.7 %) y Puebla (6.7 %) (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019).

Durante el 2020, de las 85,402 ha cultivadas de tomate, 69,868 se cultivaron a campo abierto, mientras que 15, 534 fueron cultivadas bajo agricultura protegida. Ambos tipos de producción han tenido diferentes tasas de crecimiento en la última década, el primero se ha reducido un 5.9 %, mientras que la otra ha incrementado 22.7 % (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019). Los estados de Querétaro, Chihuahua y Nuevo León lograron un mayor rendimiento con 497.96, 340.59 y 311.66 ton/ha, respectivamente, al enfocarse sus producciones locales hacia el mercado externo, respaldados por la inversión en invernaderos y un eficiente manejo del cultivo. El estado de Querétaro ha tenido un importante desarrollo en ésta área, y se ha posicionado como uno de los estados con mayor rendimiento para la producción de tomate (AMHPAC, 2021; Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019; SADER, 2019).

Para el 2020, la variedad de tomate cherry solo representó el 2.23 % de la producción nacional, aproximadamente 75,179 toneladas (AMHPAC, 2021). Aunque parece relegada, esta variedad ha tenido incrementos en el rendimiento promedio de los últimos cinco años bajo el esquema de agricultura protegida:

invernaderos (77 %) y malla sombra (39 %), cosechando 2,055.94 y 205.01 ton/ ha en 2018 (FAOSTAT, 2021; SADER, 2019). Además, su precio de mercado se ha mantenido relativamente estable desde los \$7.48 hasta los \$26.95 por Kg sin picos o caídas alarmantes en los últimos 3 años (AMHPAC, 2021).

## **1.2. Particularidades del Tomate Cherry Negro**

El atributo más destacado del tomate cherry negro es su color, pero cuenta con diferentes cualidades que lo destacan de todas las otras variedades de tomates cultivados. Sus diversas propiedades se ven están estrechamente relacionadas con los aspectos más elementales como su aspecto físico y su caracterización química, en la concentración de sus compuestos fitoquímicos, o en actividades muy específicas como la enzimática o la antioxidante. Se realizaron diversos estudios sobre estos componentes de esta variedad de tomate cherry negro, ya que son necesarios para dimensionar las cualidades bioquímicas de estas variedades de tomate cherry, divulgar los beneficios económicos de producir la variedad de tomate cherry negro seleccionada u otras similares, así como todos los aportes que puede dar a la salud humana. La metodología implicada y los resultados obtenidos de todos estos ensayos se encuentran en el Apéndice 1.

## 2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

### 2.1. Generalidades del tomate tipo cherry negro (*Solanum Lycopersicum*)

#### 2.1.1. Origen y Distribución

El tomate o jitomate se descubrió en el continente americano, aunque su punto de origen está perdido en el tiempo, se cree que la especie fue domesticada por el Imperio Inca, existen algunos vestigios arqueológicos que así lo indican, pero no hay información concluyente. Años más tarde, en el Imperio Azteca ya se documentan frutas descritas como el tomate que consumimos en la actualidad. En los siguientes siglos, durante La Colonia, los españoles llevaron a Europa algunas semillas de tomate y así producirlo en este y otros continentes, pero no fue tan atractivo y se limitó su producción como planta de ornato (Heuvelink, 2018).

En el siglo XVIII el tomate se popularizó alrededor del mundo, y por las diversas variaciones ambientales, desde sustratos disponibles hasta el clima, se pudieron establecer cultivos de diversos colores y tamaños, así como formas de transporte de la cosecha, lo que progresivamente ha logrado posicionarlo como la hortaliza con mayor distribución y venta en el mundo (Heuvelink, 2018).

A inicios del siglo XXI se otorgan las patentes de obtención de especies vegetales sobre algunas variedades de tomate cherry negro, un proceso que se venía gestando desde la década de 1970 (Ortega-Fernández, 2009; Myers, 2011).

#### 2.1.2. Clasificación Taxonómica

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Hanan A. & Mondragón P., 2009) ha clasificado el tomate cherry negro de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares)

Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas)

División: Magnoliophyta (plantas con flor)

Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales  
Familia: Solanaceae  
Subfamilia: Solanoideae  
Tribu: Solaneae  
Género Solanum

### 2.1.3. Características Morfológicas

La semilla es de forma discoidal, de 1 a 2 mm de diámetro y 0.6 mm de ancho aproximadamente, contiene al embrión en un acomodo en espiral, mientras que el endospermo lo retiene. Está rodeada por una cubierta resistente llamada testa, que protege al embrión hasta el momento de la germinación, como se muestra en la Figura 1. La viabilidad de una semilla es entre tres y cinco años dependiendo de la variedad y el manejo que se le dé, pero puede conservarse hasta por 30 años en las condiciones adecuadas (Heuvelink, 2018).



Figura 1: Semillas de tomate cherry negro sumergidas en una solución que promueve la germinación de los embriones.

El sistema radicular tiene una raíz principal, que se considera corta y débil, se ayuda de las raíces secundarias y adventicias, que son más numerosas y potentes, se puede apreciar mejor en la Figura 2. Al hacer un corte transversal de la raíz principal y de fuera hacia dentro se distingue la epidermis, en ella se ubican

los pelos absorbentes especializados para tomar agua y nutrientes; también se distingue el córtex y el cilindro central, donde se sitúa la xilema. La raíz principal puede llegar a medir hasta medio metro de largo, pero la mayoría de las raíces secundarias no rebasan los 20 o 30 cm de profundidad (Heuvelink, 2018). La raíz se encarga de obtener agua y nutrimentos que la planta necesita para crecer. Es prioritario tener una raíz sana y con el volumen suficiente para que el tomate pueda hacer frente a las posibles dificultades que el entorno pueda encarar al desarrollo del cultivo (Ramírez-Valadez et al., 2020).



*Figura 2: Plántula de tomate, las raíces adventicias se han desarrollado tanto que han sustituido casi todo el almácigo dónde se puso a crecer.*

La planta es perene, de porte arbustivo. Su desarrollo puede ser de la forma rastrera, semi-erecta o erecta (Heuvelink, 2018). Es una planta de crecimiento ilimitado (indeterminada). El tallo principal, es un eje herbáceo con un grosor que puede oscilar entre los 2 – 4 cm en la base, y a lo largo de éste, y consiste en un sistema superpuesto de simpodios. Un simpodio es la sección donde se desarrollan los tejidos más importantes del tomate las hojas, las inflorescencias y tallos secundarios, que a su vez podrían desarrollar nuevos simpodios. En las plantas de tomate de crecimiento indeterminado un simpodio consiste de un tallo, tres hojas y una inflorescencia o racimo, como se ilustra en la Figura 3 (Bustamante Orañegui et al., 2013).



*Figura 3: Simpodio de una planta de tomate cherry negro. Se puede apreciar la inflorescencia que va desarrollándose, las tres hojas que lo componen y brotes nuevos en cada hoja que generarán nuevos simpodios sin la poda adecuada.*

Su estructura, viendo de fuera hacia dentro, consta de epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o córtex, cuyas células más externas son fotosintéticas, mientras que las más internas son de soporte y flexibles o colenquimáticas, formando el cilindro vascular y el tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los primordios foliares y florales que marcan la pauta del desarrollo vegetativo, ver Figura 4.A. En cada punto donde hay un peciolo, suele brotar un tallo secundario con sus propias hojas e inflorescencias, que a su vez puede generar más tallos de forma constante, limitando el crecimiento de la planta, por translocación innecesaria de nutrientes, o competencia por la luz entre hojas de una misma planta, disminuyendo el rendimiento (Heuvelink, 2018). Estos brotes reciben el nombre de chupones, se ilustran en la Figura 4.B.



*Figura 4: A) Planta de tomate donde se puede apreciar el tallo principal, las hojas, y los racimos que se irán desarrollando, así como algunos brotes axilares. B) Brotes axilares más fácilmente distinguibles en la parte superior de las hojas.*

La hoja es de tipo compuesta e imparipinnada, con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado. Éstas se distribuyen sobre el tallo. Al mesófilo o tejido parenquimatoso lo recubre una epidermis superior e inferior, sin cloroplastos ninguna de las dos. Hay un alto número de estomas en la epidermis inferior. En el parénquima, la zona superior o zona empalizada, hay una importante cantidad de cloroplastos. Además de contar con bellos glandulares para su protección. Los haces vasculares son prominentes, y constan de un nervio principal (Heuvelink, 2018). En la Figura 5 se muestra una hoja de una planta del tomate cherry negro cultivado.



*Figura 5: Hoja de tomate cherry negro. Las coloraciones púrpuras que tiene la hoja se le atribuye a los compuestos antioxidantes que le dan su color al fruto.*

La flor se constituye de cinco o más sépalos y pétalos amarillos, es perfecta, regular e hipógina, y dispuesta de forma helicoidal a intervalos de 135 grados, presenta cinco estambres soldados alternados con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular, ilustrado en la Figura 6.A. Sus flores están agrupadas en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la

primera, alrededor del eje principal, el desarrollo de los frutos se da de la misma manera, como se aprecia en las Figuras 5.B y 5.C. La flor está unida con el eje floral por medio de un pedicelo articulado, distinguido por un engrosamiento con un pequeño surco originado en el espesor del córtex, generando una reducción. Hay inflorescencias cada dos o tres hojas en las axilas (Heuvelink, 2018).



*Figura 6: A) Flor del tomate negro. B) Un racimo de tomate en el que se puede observar distintas etapas del desarrollo de la flor hacia frutos maduros. C) Racimo de tomate ya casi en estado de madurez, que se puede apreciar en los tonos rojizos.*

El fruto es una baya bilocular o plurilocular, puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 40 gramos. En la Figura 7.A se puede apreciar un fruto de la variedad tomate cherry negro que se estudió en este trabajo. Se compone por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas, Figura 7.B. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades cultivadas a nivel industrial (Heuvelink, 2018).



Figura 7: A) Fruto de tomate en estado de madurez, se puede determinar por los tonos rojizos. B) Corte transversal de un fruto de tomate cherry negro.

#### 2.1.4. Requerimientos del Cultivo

Son diversos los factores climáticos que afectan el correcto desarrollo del cultivo de tomate, más por las diferentes variaciones climatológicas que se encuentran alrededor del país. En un régimen de agricultura protegida toda variación del entorno se mantiene al mínimo (Velasco Hernández et al., 2011) recomienda:

##### Suelo

Para un arraigamiento adecuado, el tomate demanda un perfil de suelo entre 40 y 60 cm, y que sea fácilmente penetrable por la raíz. Para facilitar el manejo del tomate, se debe asegurar que el sustrato se mantenga inerte la duración del ciclo, así como esté libre de otros organismos que puedan competir por los recursos del suelo, así como infectar o enfermar al cultivo.

Entre las propiedades físicas recomendadas están la retención de agua, entre un 20 y 30 % del volumen total del sustrato. Una suficiente capacidad de aireación entre el 30 y 40 % del volumen total, así como una elevada porosidad que impida la compactación del suelo.

Las características químicas requieren un pH que oscile entre 6 y 6.5, nula o muy baja capacidad de intercambio catiónico, baja salinidad y mínima capacidad de erosión.

Actualmente el deterioro de los recursos naturales, la creciente demanda de suelo para uso agrícola han favorecido el uso de diversos materiales como sustrato, incluyendo algunos que se consideraban desperdicios. El uso de un sustrato único o combinado, dependerá de la disponibilidad y precio de los materiales, además de que no existe un sustrato perfecto ni universal, como tampoco existe un sistema de cultivo perfecto o universal.

### Clima

#### a) Luminosidad y radiación

Se requiere una luminosidad natural, entre 2, 500 y 3, 000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^2$  en un fotoperiodo de 12 h mínimo. Para asegurar la adecuada producción de fotosíntesis se demanda una radiación solar de 14 a 16  $\text{MJ}/\text{m}^2$  cada día.

#### b) Temperatura

A lo largo del ciclo se requieren intervalos específicos de temperatura para cada fase, de forma general para un cultivo óptimo se recomienda un intervalo de temperatura nocturno entre 15 – 18 °C. Y 28 – 30 °C durante el día para evitar abortos en las flores u otros daños asociados.

#### c) Humedad Relativa

Se recomienda que varíe entre un 50 y un 60 % de humedad para evitar la aparición de organismos que podrían dañar o generar enfermedades al cultivo, o daños al fruto por exceso de humedad.

### *2.1.5. Manejo cultural*

En los sistemas productivos bajo invernadero se sugiere la aplicación de las siguientes prácticas con el fin de aumentar la productividad, facilitar el manejo del cultivo y prevenir el surgimiento de patógenos o enfermedades (Velasco Hernández et al., 2011):

### Tutoreo

Se realiza con la idea de que las plantas no toquen el sustrato de forma directa, además de lograr una mejor distribución de la iluminación para un óptimo desarrollo de la planta, facilitar labores de poda de brotes y hojas, así como aplicaciones foliares y la cosecha. Se emplean ganchos de tutoreo de 0.30 m de longitud, al cual se le enrollan 6 m de rafia, previamente desinfectadas durante 24 horas en solución de sales cuaternarias de amonio. El tutoreo se realiza con 3 vueltas y media de rafia. La rafia se sujeta a la base del tallo con anillos de tutorado.

### Poda de formación

Dependiendo del sistema que se utilice, se puede sembrar un máximo de 4 plantas/m<sup>2</sup>. Teniendo varias plantas por bolsa o una misma a diferentes tallos. Este número de tallos define el tipo de crecimiento y producción que se desee. En las plantas a un solo tallo se eliminan los brotes auxiliares (chupones), para evitar alteraciones en el desarrollo del cultivo. Para las plantas a dos tallos se elimina el ápice o brote terminal para generar dos tallos, y así tener dos plantas con un mismo sistema radicular.

### Poda de brote

Se remueven los brotes auxiliares cuando tienen una longitud de 2 a 5 cm de largo, con el fin de evitar alteraciones en el desarrollo del cultivo, su estado de nutrición o surja una especie de rivalidad por los recursos entre los tallos de una misma planta, generando merma. Si se hace cuando están más desarrollados, se deja una herida mayor que hace a la planta más susceptible a enfermedades. Para remover los brotes axilares se recomienda usar tijeras de poda previamente desinfectadas. Además, el crecimiento de estos chupones implica la desviación de recursos por parte de la planta en el desarrollo de órganos no deseados, que al ser removidos se pueden volver pérdidas considerables.

### Polinización

Se realiza para originar las semillas, que a su vez generan la pulpa de los frutos. La polinización más adecuada se da en ambientes con una humedad relativa del 60 % y temperaturas entre 26 – 28 °C. La forma más recomendable es la

introducción de una colmena de abejorros (*Bombus terrestris*) Minipol® de la marca Koppert a partir de la primera semana de floración. Estas colmenas tienen una duración de 6 semanas de actividad, aunque no son los únicos polinizadores

### Raleo de flor y fruto

El raleo en flores y frutos se lleva a cabo para promover el crecimiento de tamaño uniforme de los frutos. Se eliminan los frutos mal formados y los que tienen retraso significativo de crecimiento en relación con el resto; como, frutos con pesos menores a 2 g y flores sin cuajar. Los frutos menores a 8 gramos en tamaño se cortan con tijeras de poda, estos por lo general se encuentran en las puntas de los racimos.

### Poda fitosanitaria

Se hace como acción preventiva, para evitar aparición de enfermedades, y al mismo tiempo permite una mejor captación de la radiación solar aprovechable y la ventilación entre las plantas en cultivos muy densos. Se remueven las hojas senescentes que se encuentran por debajo del primer racimo floral. Cuando los racimos están llenos y aparece el color rojo en los tomates más cercanos al tallo, se poda la hoja próxima. Conforme se van cosechando frutos hacia arriba del tallo, se van podando también las hojas y racimos hasta el siguiente racimo con frutos. Para evitar la diseminación de enfermedades no se deben dejar hojas o brotes en el interior del invernadero.

## **2.2. Técnicas de propagación de tomate**

### *2.2.1. Propagación Sexual*

La forma más común de propagación se da mediante el uso de semillas. Ya sea mediante la adquisición de semillas de algún proveedor comercial que ya garantiza la germinación y homogeneidad del cultivo, o bien obteniendo semillas propias a partir de frutos de interés. En éste último caso se recomienda que sea de algún fruto ya maduro y libre de enfermedades, en especial hongos que pueden incorporarse incluso a las semillas mismas, y darles algún tratamiento para su germinación adecuada (Heuvelink, 2018; Velasco Hernández et al., 2011).

La plántula originada mediante semilla se produce colocando las semillas en charolas de germinación, una en cada cavidad, pre-rellenas de sustrato estéril humedecido a capacidad de campo. Por lo general, se recomienda usar como sustrato turba, también llamado peatmoss, o combinación de este con otros materiales como perlita, arena, tezontle, grava o vermiculita (Velasco Hernández et al., 2011). El sustrato se coloca hasta medio centímetro antes de llegar a la superficie, se coloca la semilla y luego se cubre con una delgada capa de 4 mm más de sustrato, evitando comprimirlo ya que puede intervenir en la emergencia de la semilla. Se coloca a temperatura de 22-24 °C en condiciones de oscuridad, hasta que se obtengan los primeros brotes, después se traslada a un sitio donde pueda recibir una buena cantidad de luz solar indirecta, para evitar que se destruya la planta por demasiada radiación solar (Heuvelink, 2018).

Una vez transcurridos 25-28 días después de siembra (DDS) el brote ya debe contar con al menos 4 hojas verdaderas y tener una altura entre 15 y 20 cm.

### *2.2.2. Propagación Asexual*

La propagación asexual es la obtención de una planta completa e independiente de otra, a partir de tejido vegetal o algún órgano de la planta madre. Este tipo de propagación se logra por la división y diferenciación que se produce durante el crecimiento y regeneración celular que tienen las plantas. Estos procesos son posibles gracias a la capacidad de totipotencia y rediferenciación que tienen las células vegetales, lo que permite a partir de cualquier tejido generar órganos o seres nuevos (Isaeva et al., 2008; Kumar & Van Staden, 2017).

### *2.2.3. Propagación por Cultivo in Vitro*

Técnica de obtención de un elevado número de plantas idénticas a la planta madre, mediante un estricto control fitosanitario, en poco tiempo, y que va de la mano con el fitomejoramiento, logrando una homogeneidad en todas las plantas descendientes, obteniendo clones sanos que son potencialmente infinitos. Las condiciones de la planta donante deben ser impecables, así como las instalaciones que propicien un ambiente casi estéril y rico en sales minerales, vitaminas, hormonas vegetales y una fuente de carbono. Lo que encarece demasiado este tipo

de producción, ya que si no hay garantía de supervivencia el proceso entero se debe descartar (Lopez-Corona et al., 2019).

#### *2.2.4. Propagación por Injerto*

Es la unión de dos porciones de tejido vegetal vivo, generando la unión, crecimiento y desarrollo como un solo organismo. Su uso en el tomate se ha venido implementando en años recientes como respuesta a poco control de enfermedades del suelo, nematodos, baja resistencia al estrés abióticos, que son fuertes limitantes en la producción (Velasco-Alvarado et al., 2017).

Para maximizar los beneficios del uso de injertos, hay que conocer la interacción porta injerto/injerto, que se da por la compatibilidad anatómica, el tiempo de prendimiento y nivel del establecimiento vascular, además de identificar las variaciones en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto (Velasco-Alvarado et al., 2017).

#### *2.2.5. Propagación por Esqueje*

La técnica de propagación por esquejes o estacas herbáceas se aplica en diversas plantas con dificultades para su propagación por semilla, por cuestión de tiempos o por interés comercial, principalmente plantas de ornato.

Cualquier parte de la planta se coloca en condiciones ambientales favorables para su desarrollo, y así generar una planta genéticamente igual a la planta madre. Es rápida y sencilla, dependiendo de la familia de la planta puede ser necesario añadir alguna sustancia enraizadora. Por este método es posible conseguir plantas resistentes y bien adaptadas al medio, con frutos de excelente calidad (Lopez-Corona et al., 2019).

### **2.3. Factores que afectan el enraizamiento de esquejes**

Para asegurar el éxito del enraizamiento del esqueje se deben controlar ciertos factores ambientales (Lopez-Corona et al., 2019) que se clasifican en:

### *2.3.1. Factores del Entorno*

#### *Sustrato*

El suelo o sustrato utilizados para el esquejado deben permitir el flujo adecuado de aire y de agua, ya que el desarrollo radicular dependerá mucho de la textura del suelo y los cambios físicos que el sustrato pueda presentar. Debe estar libre de agentes patógenos.

#### *Luz*

La presencia de luz es necesaria para fomentar la actividad fotosintética en las hojas nuevas, lo que generará la suficiente energía para el desarrollo radicular.

#### *Temperatura*

Se recomienda una temperatura que no exceda los 35 °C, generalmente el desarrollo de raíces se logra con temperaturas elevadas, pero que no terminen por deteriorar el material vegetal, por lo que la parte aérea debe estar a una temperatura menor.

#### *Humedad relativa*

Una humedad relativa que oscile entre 80-90 % para evitar evo transpiración en el material a esquejar. Para descartar el desarrollo de organismos patógenos, se recomienda tener un manejo fitosanitario adecuado.

### *2.3.2. Factores biológicos*

#### *Presencia de Hojas*

Aunque la presencia de las hojas da la idea de que generará más fotosíntesis y biomasa, es más probable que el esqueje comience a deshidratarse, por lo que se es mejor remover hasta un 90 % de las hojas hasta solo quedarse con los indicios de hojas que estén brotando (Velasco Hernández et al., 2011).

#### *Estado fenológico*

La edad de la planta madre influencia el enraizamiento del esqueje, Si la planta madre ya está en la última parte de su ciclo, su bajo contenido de fitohormonas puede reducir significativamente la velocidad del enraizamiento (Hartmann et al., 2014).

### Estado nutricional

El balance nutricional en la planta madre puede influenciar significativamente en el desarrollo de raíces y tallos en estacas. Se recomienda que la planta madre tenga una alta provisión de carbohidratos y enriquecida en nitrógeno, para obtener esquejes más fuertes.

## **2.4. Reguladores de Crecimiento**

Las fitohormonas o hormonas vegetales, son compuestos producidos por las plantas para su función dentro del mismo organismo, su función se logra a bajas concentraciones a nivel celular, generando cambios en los patrones de crecimiento para regularlos. Actualmente se han logrado sintetizar de forma química, o extraer de otros organismos diferentes reguladores vegetales que pueden ser más potentes que los de origen vegetal, y tienen diversas aplicaciones (Steven et al., 2019).

A lo largo de los años se han logrado identificar y clasificar las fitohormonas en diferentes grupos como: Auxinas, Giberelinas, Citoquininas, Ácido abscísico, Ácido salicílico, Poliaminas, Ácido Jasmónico, Brasinoesteroides, Etileno, Estrigolactonas (Steven et al., 2019).

Las Auxinas resultan de mayor interés, por su especialización en los diferentes procesos a nivel vegetal en los que se involucran, ya que son capaces de intervenir los procesos de división, elongación y diferenciación unicelular o pluricelular, llegando incluso a modificar los tejidos vegetales, induciendo la diferenciación celular en tallos, raíces, hojas o la organogénesis para la reproducción vegetativa (Steven et al., 2019).

Proroot es un producto comercial que ofrece una combinación de auxinas como el Ácido Naftalenacético (ANA) y el Ácido Indolbutírico (AIB), macronutrientes, ácidos fúlvicos con la finalidad de inducir la formación de raíces fibrosas y vigorosas, así como raíces cortas que se complementen entre sí (FAGRO, 2019). La Composición del enraizador se desglosa en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición garantizada en porcentaje del enraizador Proroot

<b>Compuesto</b>	<b>Proporción (%)</b>
Fósforo Aprovechable	55
Acondicionadores e Inertes	31.7
Nitrógeno Total	11
Ácidos Fúlvicos	2
Ácido Naftalenacético	0.28
Ácido Indolbutírico	0.02

La dosis recomendada por el fabricante es 100 g/100 L o 10 g/10 L. La parte basal del esqueje se sumerge en un recipiente con el enraizador mezclado, después se entierra en el sustrato. Se recomienda dar una segunda aplicación después de una semana de su tratamiento, ya sea en el sistema de riego o planta por planta.

### **3. HIPOTESIS Y OBJETIVOS**

#### **3.1. Hipótesis**

El método de producción de plántula de tomate cherry negro por medio de esquejes tendrá diferencia significativa en el desarrollo fisiológico de la planta, el tiempo de desarrollo fenológico y la obtención de una raíz más grande en comparación con el método tradicional de producción de plántula a partir de semilla.

#### **3.2. Objetivo general**

Comparar el método de producción de plántula de tomate cherry negro por medio de esquejes con el método tradicional de producción de plántula a partir de semilla, por medio de la evaluación del desarrollo fisiológico, a través de la altura del ápice, grosor de la base del tallo a través del tiempo, así como la evaluación de la raíz obtenida en ambos métodos y establecer una alternativa viable a la producción de plántula cuando no sea posible la obtención de plántulas a partir de semillas.

#### **3.3. Objetivos específicos**

- a) Determinar la longitud adecuada de los esquejes o yemas axilares para lograr la producción de planta de tomate cherry bajo invernadero.
- b) Comparar el desarrollo, considerando altura del ápice y grosor del tallo, así como la aparición de tejido foliar como hojas y flores en las plantas generadas por semilla y por esqueje en cada etapa fenológica.
- c) Evaluar la cantidad de raíz producida a partir de semilla, y la producida a partir de esqueje haciendo un comparativo de pesos frescos y pesos secos, y así determinar qué tratamiento produce una mayor cantidad de tejido radicular que propicie el anclaje adecuado y el mayor desarrollo potencial de la planta.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Localización

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el municipio el Marqués, ubicado al noroeste del estado de Querétaro.

El municipio de El Marqués registra una precipitación pluvial de 400 a 500 mm<sup>3</sup>, con vientos dominantes del Noreste a Suroeste. El clima predominante es subtropical de altura, en un 80% del municipio es templado-semi seco con una temperatura media anual que oscila entre los 18 y 24 °C y en el restante 20% es templado-húmedo, y su temperatura media anual varía entre 14 y 16 °C.

El experimento se montó en un invernadero tipo gótico, Figura 8, constituido por una nave de 5 m de ancho y 6 m de largo; altura de paredes laterales de 2.5 m y altura en el punto más alto de 5 m. El invernadero tiene una capacidad de 100 bolsas distribuidas a lo largo de 5 líneas, 20 bolsas cada una. Las bolsas se rellenaron con una mezcla 2:1:1 de Humus de lombriz, Tezontle y Composta madura.



*Figura 8: Vista frontal de la pared norte del invernadero estilo gótico a una nave, al centro se encuentra la entrada de puerta sencilla.*

## 4.2. Material Vegetal

### 4.2.1. Plantas Germinadas

Previamente se estableció un cultivo experimental de tomate cherry negro, variedad Kumato, con un tratamiento embebido en las semillas con Giberelinas (GBL), Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ) ambos a una concentración de 200 ppm, y su grupo de control. A este cultivo, desde su germinación se monitorearon los días que le tomó emerger al brote, establecimiento de plántula, y el desarrollo vegetativo y los momentos de aparición y desarrollo de vegetal como hojas verdaderas, brotes laterales, sus inflorescencias y el cuajado de sus frutos, en la Figura 9 se puede ver este cultivo ya instalado en el invernadero para su crecimiento. En este cultivo se dejaron crecer los chupones hasta obtener las varas para esquejar, laterales entre el 3° y 6° racimo floral, con una longitud aproximada a los 18 centímetros.



*Figura 9: Cultivo de tomate trasplantado al invernadero después de 28 días después de su siembra. De este cultivo se obtuvieron los esquejes.*

La solución nutritiva que se utilizó en ambos cultivos es tipo Steiner formulada para las diferentes etapas fenológicas: plántula, crecimiento vegetal y crecimiento del fruto, Tabla 2. Se administró por de forma manual en la primera etapa fenológica de ambos cultivos. Ya establecido el cultivo en el invernadero, se realizó vía ferti-riego.

Tabla 2: Formulación de la solución nutritiva Steiner utilizada en cada etapa fenológica del cultivo de tomate cherry negro. El Volumen total de la solución nutritiva fue de 5,000 L. Cada compuesto se presenta en kg.

<b>Compuesto</b>	<b>Germinación</b>	<b>Desarrollo Vegetal</b>	<b>Desarrollo Fruto</b>
<i>Ácido Fosfórico</i>	0.47	0.47	-
<i>Ácido Nítrico</i>	-	-	0.604
<i>Nitrato de Calcio</i>	6.5	2.95	3.85
<i>Ácido Sulfúrico</i>	-	-	0.732
<i>Sulfato de Potasio</i>	1.875	1	-
<i>Nitrato de Potasio</i>	2.5	-	2.9
<i>Nitrato de Magnesio</i>	-	0.65	0.8
<i>Sulfato de Magnesio</i>	3.125	0.8	1.3
<i>Sulfato de Cobre</i>	0.05	-	-
<i>Fosfato de potasio</i>	-	0.82	-
<i>Fosfato monopotásico</i>	-	-	1.1
<i>Cloruro de potasio</i>	-	0.1	1.2
<i>Fierro</i>	0.125	0.076	0.075
<i>Manganeso</i>	0.025	0.03	0.03
<i>Cobre</i>	-	0.003	0.002
<i>Zinc</i>	0.025	0.011	0.01
<i>Boro</i>	0.025	0.01	0.01
<i>Molibdeno</i>	-	0.001	0.001

De acuerdo a los resultados preliminares del crecimiento foliar de las plántulas conseguidas mediante semilla, el intervalo de tiempo en el que los brotes germinales ya eran plántulas viables, fue de 6 semanas. Y aunque la homogeneidad es éstas plántulas era adecuada, al colectar los esquejes para la experimentación, éstos tenían valores de diámetro y altura que ya eran del doble del tamaño que los de las plántulas originadas desde semilla, por lo que el comparativo de la parte aérea era limitado.

En respuesta, se estableció otro grupo de semillas germinadas con los mismos tratamientos anteriormente mencionados, durante el mismo periodo de tiempo. A estos brotes también se les midió el diámetro y la altura del ápice para determinar si su desarrollo foliar era el mismo al mismo grupo. Después se desenterraron para extraer la raíz y pesarla, estos datos obtenidos se usarán como referentes de tiempo en crecimiento y desarrollo para la posterior comparación con el cultivo por esqueje.

En las plantas obtenidas desde semilla, las primeras flores brotaron entre los días 88 y 90 después de haber sido sembradas, y los tomates se pudieron cosechar 140 días después de la siembra.

#### *4.2.2. Obtención de Esquejes*

De los chupones desarrollados, se seleccionaron aquellos que tuvieran una longitud entre los 15 y 25 cm, se removieron con pinzas de poda, desinfectadas previamente con sales cuaternarias. Se realizó un corte en 45 ° para tener la mayor superficie de contacto con el enraizador. Se removieron todas las hojas a lo largo del tallo dejando únicamente las más cercanas al ápice, para evitar la pérdida de agua por evo transpiración, como se muestra en la Figura 10. Después se sumergió la parte inferior en la solución enraizadora con Prorroot® a una dosis de 10 g/ 10 L y se enterró (COSMOCEL, 2012; Moreno-Pérez et al., 2016).



*Figura 10: Esqueje de tomate listo para la solución enraizadora y su futura colocación en el sustrato. Se puede apreciar el corte a 45°.*

Los esquejes se colocaron en una caja de madera con 18 bolsas rellenas de la misma mezcla anteriormente mencionada, como se muestra en la Figura 11. Los esquejes se situaron en las cajas de acuerdo al acomodo dictado por el diseño experimental. La nutrición se administró de forma manual.

El monitoreo de los esquejes fue igual que a las plántulas obtenidas desde semilla, midiendo el diámetro del tallo y la altura del ápice durante seis semanas. Haciendo observaciones de su desarrollo vegetativo. Después de esas seis semanas se desenterraron los esquejes para hacer las mediciones de biomasa generada.



*Figura 11: Caja con 18 esquejes de tomate enterrados en diferentes proporciones. El orden corresponde al establecido en el Diseño Experimental.*

### **4.3. Tratamientos y Diseño Experimental**

El diseño experimental consistió en un diseño de bloques al azar para evaluar el efecto de la proporción de esqueje enterrado sobre el tejido radicular desarrollado en seis semanas. La disposición del experimento fue de tres tratamientos con una unidad experimental de 18 plantas, agrupando los esquejes en los tratamientos previos, Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ), Giberelinas (GB) y Control (CTRL) que habían recibido las plantas madre, para evitar sesgos en el comparativo. Los tratamientos experimentales se determinaron por el porcentaje de

la longitud del esqueje enterrado, T1: 30-70, T2: 40-60, T3: 50-50. Los esquejes se enterraron en cajas, cada tratamiento contó con tres repeticiones (Moreno-Pérez et al., 2016). Se aplicó en el riego otra dosis de enraizador, en la semana número uno de la experimentación (COSMOCEL, 2012). El acomodo de los esquejes fue de acuerdo a lo que se ilustra en la Figura 12.

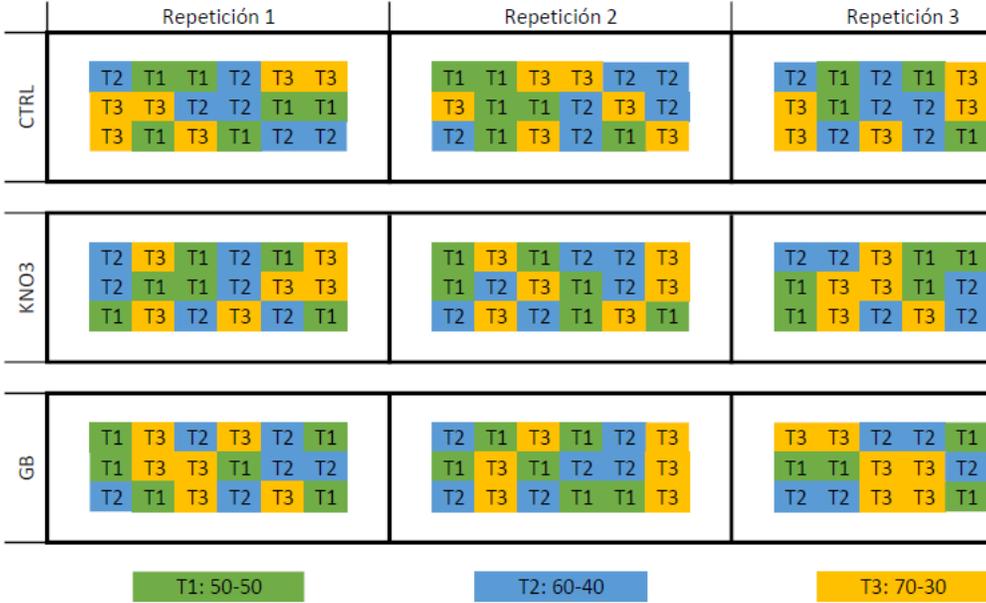


Figura 12: Diseño completamente al azar del acomodo de los esquejes.

El experimento tuvo una duracion de seis semanas. El tiempo que a una semilla le toma en desarrollarse hasta formar una plántula lista para su trasplante al invernadero, para su produccion. Este periodo de tiempo puede variar dependiendo del tipo de cultivo y la planeacion que cada organizacion tenga, por lo que se considero el tiempo que a la planta madre le tomó pasar de semilla a plántula como el tiempo de establecimiento para esta variedad de tomate cherry negro.

#### 4.4. Variables de Crecimiento Vegetal Evaluadas

##### 4.4.1. Porcentaje de Esquejes Enraizados

Corresponde al número de esquejes que hayan generado suficientes raíces como para ser trasplantarlos para la producción intensiva, considerando su Tasa de Supervivencia (TS) y también que hayan tenido desarrollo vegetal progresivo (Lopez-Corona et al., 2019).

##### 4.4.2. Parte Aérea

El desarrollo del área foliar se determinó por la medición de la base del tallo, y el largo de este en cm con un vernier digital (Absolut Mutitoyo) y un flexómetro (Truper).

##### 4.4.3. Parte Radicular

El desarrollo radicular se determinó a través del porcentaje de Materia Seca de la Raíz (MSr), mediante la ecuación (1) (Rodríguez López et al. 2022). Mientras que el Índice de Biomasa de la Raíz (IBr) se obtuvo con ayuda de la ecuación (2) (Barrios et al., 2014) ambas variables representan el peso relativo radicular, respecto a la biomasa total generada en las plántulas, las obtenidas a partir semilla y las obtenidas a partir de esqueje.

$$MSr = \left( \frac{PSr}{PFR} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$IBr = \frac{PFR}{PFf + PFR} \quad (2)$$

donde PSr es el peso seco de la raíz que fue deshidratada durante 72 h a 36 °C, PFR es el peso fresco de la raíz y PFf es el peso fresco del follaje en g.

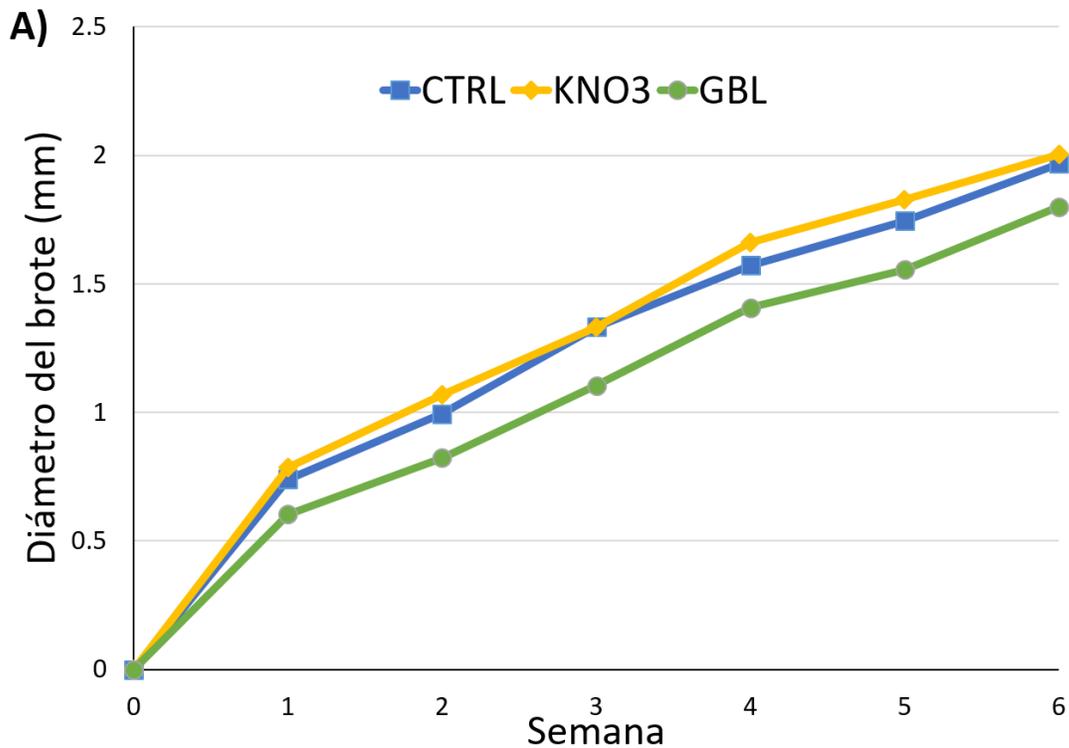
#### 4.5. Análisis estadístico

Los resultados se informaron como medias  $\pm$  el error estándar. Se realizaron análisis de varianza de dos factores con una sola muestra a cada grupo. Las diferencias significativas entre las variedades se determinaron mediante análisis de varianza y error estándar para la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) utilizando el software estadístico Statgraphics® Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc., Bedford, MA, EE. UU., 2010).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Plántula originada por semilla

El desarrollo fisiológico de la plántula de tomate cherry negro fue bastante uniforme, al final de las 6 semanas el porcentaje de plántulas establecidas fueron: GBL con 37 %,  $\text{KNO}_3$  con 52 % y CTRL con 48 %. El desarrollo progresivo de la parte aérea de ésta plántula se puede apreciar en la Figura 13. Hasta éste punto del crecimiento, no hubo diferencia significativa entre los resultados, con un diámetro que en promedio varió entre 1.8 y 2 mm, y una altura cuyo promedio osciló entre los 5.3 y 6.7 cm.



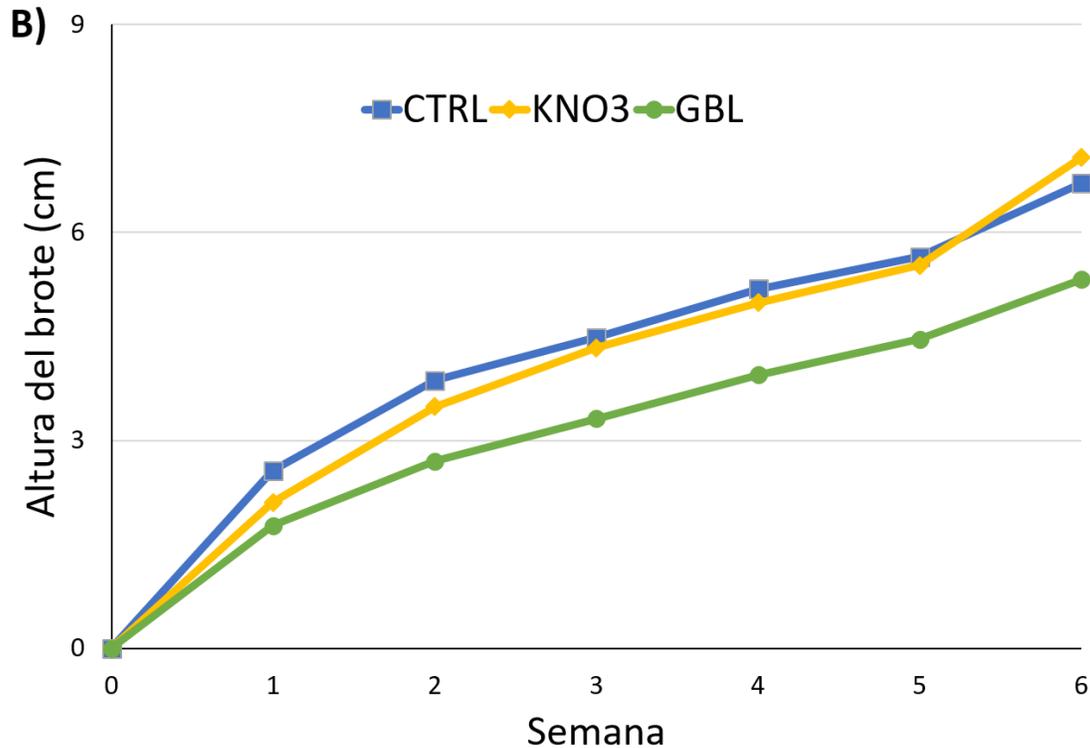


Figura 13 Resultados de los brotes de semilla con pre-tratamientos embebidos de GBL,  $KNO_3$  y Control a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los brotes. B) Alturas de los brotes.

La biomasa radicular desarrollada se determinó mediante el Porcentaje de Materia Seca de la Raíz y el Índice de Biomasa, reportados en la Tabla 3. Los tratamientos de GBL y  $KNO_3$  no tuvieron resultados con diferencias significativas entre sí o con el tratamiento de Control, en este momento del experimento. Sin importar el tipo de tratamiento, la amplia mayoría de los valores en el porcentaje de Materia Seca de la Raíz permanecieron entre 7.96 y 15.62, y el Índice de Biomasa obtenidos se mantuvieron en un intervalo de 0.154 y 0.391.

Tabla 3: Valores de la biomasa obtenidos en plántulas desarrolladas a partir de semilla, con sus tratamientos embebidos. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Tratamiento	MSr (%)	IBr
GBL	11.380 $\pm$ 1.125 <sup>a</sup>	0.278 $\pm$ 0.024 <sup>a</sup>
KNO <sub>3</sub>	11.591 $\pm$ 1.125 <sup>a</sup>	0.280 $\pm$ 0.024 <sup>a</sup>
CTRL	11.287 $\pm$ 1.125 <sup>a</sup>	0.281 $\pm$ 0.024 <sup>a</sup>

## 5.2. Plántula generada a partir de esquejes

### 5.2.1. Porcentaje de Esquejes Enraizados

A lo largo de todo el experimento, el porcentaje de esquejes se fue reduciendo de los 162 sembrados originalmente. La Tasa de Supervivencia (TS) se iba reduciendo con el pasar de las semanas, y el porcentaje de esquejes pertinente está plasmado en la Tabla 4. De las 97 plantas sobrevivientes y enraizadas después de las 6 semanas, 37 provinieron del tratamiento previo de GB, 30 del correspondiente al KNO<sub>3</sub> y 30 del CTRL.

Tabla 4: Porcentaje de esquejes sobrevivientes a cada tratamiento experimental planteado, agrupado con el tratamiento previo correspondiente. La columna S se refiere al número de semana en que se hizo la medición.

S	GBL			KNO <sub>3</sub>			CTRL		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	88.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	94.44	100.00	94.44
2	83.33	100.00	100.00	83.33	83.33	100.00	94.44	100.00	83.33
3	77.78	100.00	88.89	83.33	83.33	100.00	94.44	94.44	83.33
4	77.78	100.00	77.78	61.11	66.67	100.00	88.89	88.89	77.78
5	66.67	83.33	66.67	50.00	66.67	77.78	72.22	77.78	77.78
6	66.67	83.33	66.67	44.44	66.67	72.22	72.22	72.22	77.78

Para poder hacer un análisis con mayor precisión, los análisis de resultados de los esquejes enraizados se presentan primero respetando los tratamientos desde la germinación de la planta madre, y posteriormente de forma global entre ellos.

### 5.2.2. Parte Aérea

#### Giberelinas

Al inicio del experimento, los esquejes marcaron una ligera diferencia significativa en el diámetro en T3 con un promedio en sus valores con 5.4 mm. En las alturas no hubo ninguna diferencia destacable, manteniéndose en un rango entre 10 y 23.4 cm. Durante la primera semana del experimento no se observó diferencia significativa alguna entre los tratamientos experimentales, T2 y T3 mantuvieron en 100 % la TS. En el diámetro los valores fueron desde 4.12 hasta 11.12 mm. En la altura los valores oscilaron desde 9 a los 26 cm, tampoco hubo diferencia significativa. Para la segunda semana de medición T2 y T3 mantuvieron nuevamente la TS en 100 %, ya se podía apreciar el desarrollo de algunas hojas y la elongación del tallo. Respecto al diámetro no hubo diferencias significativas entre los resultados, los cuales oscilaron entre los 4.15 y los 9.6 mm. En las alturas tampoco hubo diferencias significativas que reportar, los valores estuvieron en un rango entre 10.2 y 31 cm. En la tercera semana T2 seguía liderando la TS con un 100% de sobrevivientes, comenzaron a brotar más hojas en casi todos los esquejes. Se mantuvo la tendencia sin diferencias significativas en los diámetros ni las alturas. Manteniéndose en un rango de 3.84 a 9.07 mm en el diámetro, y 11.5 a 35.6 cm en la altura, respectivamente. En la cuarta semana de experimentación, T2 todavía mantenía el liderazgo con el 100 % de la TS, se pudieron observar algunos botones de dónde surgirían las primeras flores. Las diferencias significativas de diámetros y alturas, se mantuvieron sin distinción entre ellas. El intervalo del diámetro fue de 4.18 a 9.08 mm, y el intervalo de la altura fue de 12.5 a 38.2 cm. En la semana cinco, la TS aún la lideraba T2 con un 83.33 %, ya había brotes axilares en los esquejes, en los que también se podía apreciar el desarrollo foliar y hasta florar. Las diferencias significativas en el diámetro cambiaron, siendo T3 quien tuvo un mayor desempeño con 7.18 mm. En las alturas no hubo ningún cambio, manteniendo un intervalo entre 12.3 y 40 cm. En la última semana, T3 mantuvo el liderazgo con 83.33 %, algunas flores ya comenzaban a formarse frutos. Hubo diferencia significativa para el T3 en el diámetro con 7.42 mm. Pero las alturas se mantuvieron

sin diferencias entre ellas, oscilando desde los 22.8 y 35 cm. El desarrollo progresivo de los esquejes con tratamiento previo de GB se puede visualizar en la Figura 14.

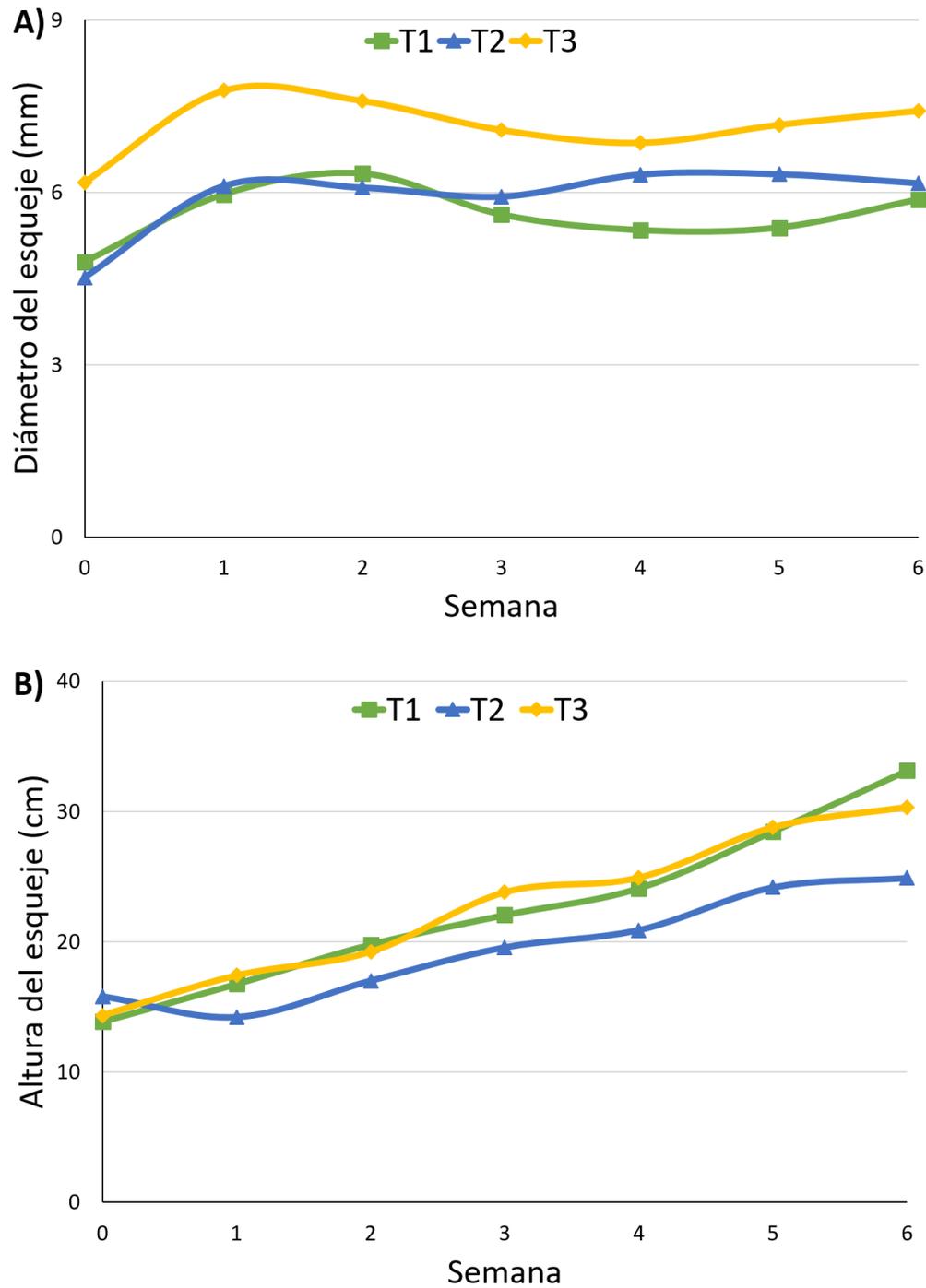


Figura 14: Resultados obtenidos a partir del tratamiento previo de GBL, y sus mediciones a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los esquejes. B) Alturas de los esquejes.

El análisis de varianza de los resultados finales de los diámetros se muestra en la Tabla 5. El análisis de varianza de los resultados finales de las alturas se muestra en la Tabla 6. Los promedios de los valores obtenidos en cada semana, así como sus desviaciones estándar y los resultados de la prueba de Tukey se ilustran en la Tabla 7.

*Tabla 5: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Giberelinas.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Diámetros</i>	4.685	6	0.781	10.084	0.0004	2.996
<i>Semanas</i>	9.316	2	4.658	60.158	5.5642E-07	3.885
<i>Error</i>	0.929	12	0.077			
<i>Total</i>	14.930	20				

*Tabla 6: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Giberelinas.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Alturas</i>	546.036	6	91.006	33.503	8.1057E-07	2.996
<i>Semanas</i>	46.101	2	23.051	8.486	0.005	3.885
<i>Error</i>	32.596	12	2.716			
<i>Total</i>	624.734	20				

Tabla 7: Diámetros y alturas obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Giberelinas. La columna S se refiere al número de la Semana correspondiente. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

<b>DIÁMETROS (mm)</b>			
<b>S</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
0	4.790 ± 2.251 <sup>ab</sup>	4.780 ± 2.251 <sup>b</sup>	5.397 ± 2.251 <sup>a</sup>
1	5.968 ± 2.464 <sup>a</sup>	6.110 ± 2.464 <sup>a</sup>	7.775 ± 2.464 <sup>a</sup>
2	6.333 ± 2.809 <sup>a</sup>	6.082 ± 2.809 <sup>a</sup>	7.595 ± 2.809 <sup>a</sup>
3	5.617 ± 1.669 <sup>a</sup>	5.925 ± 1.669 <sup>a</sup>	7.085 ± 1.669 <sup>a</sup>
4	5.342 ± 1.875 <sup>a</sup>	6.310 ± 1.875 <sup>a</sup>	6.862 ± 1.875 <sup>a</sup>
5	5.388 ± 1.826 <sup>b</sup>	6.315 ± 1.826 <sup>ab</sup>	7.178 ± 1.826 <sup>a</sup>
6	5.880 ± 1.454 <sup>b</sup>	6.158 ± 1.454 <sup>ab</sup>	7.422 ± 1.454 <sup>a</sup>
<b>ALTURAS (cm)</b>			
0	13.875 ± 5.494 <sup>a</sup>	13.875 ± 5.494 <sup>a</sup>	15.800 ± 5.494 <sup>a</sup>
1	16.767 ± 7.247 <sup>b</sup>	14.200 ± 7.247 <sup>a</sup>	17.417 ± 7.247 <sup>a</sup>
2	19.800 ± 7.709 <sup>a</sup>	17.000 ± 7.709 <sup>a</sup>	19.233 ± 7.709 <sup>a</sup>
3	22.067 ± 8.722 <sup>a</sup>	19.567 ± 8.722 <sup>a</sup>	23.800 ± 8.722 <sup>a</sup>
4	24.117 ± 9.174 <sup>a</sup>	20.900 ± 9.174 <sup>a</sup>	24.917 ± 9.174 <sup>a</sup>
5	28.483 ± 8.866 <sup>a</sup>	24.183 ± 8.866 <sup>a</sup>	28.783 ± 8.866 <sup>a</sup>
6	33.150 ± 10.021 <sup>a</sup>	24.900 ± 10.021 <sup>a</sup>	30.333 ± 10.021 <sup>a</sup>

### Nitrato de Potasio

El experimento inició sin ninguna diferencia significativa en el diámetro, manteniéndose con valores entre 3.03 y 7.16 mm. Los esquejes con diferencias destacadas en la altura, fueron T2 y T3 con un rango entre 12.5 y 21 cm. En la primera semana del experimento no se observó diferencia significativa en los diámetros de los tratamientos, y los tres mantuvieron al 100 % la TS. El diámetro tuvo valores entre 4.48 y 10.59 mm. En la altura se destacó el T2 con 19.25 cm. Para la segunda semana, T3 se mantuvo nuevamente con la TS en 100 %, ya eran

visibles nuevas hojas en la mayoría de los esquejes. Respecto al diámetro T1 tuvo una diferencia significativa con 6 mm, seguida de T3 con 7.52 mm. En las alturas no hubo diferencias significativas, los valores estuvieron entre 14 y 28 cm. En la tercera semana, T3 seguía liderando la TS con un 100 % de sobrevivientes, hubo un ligero deterioro en los ápices, mientras que se continuó el desarrollo foliar y eran visibles algunos botones. Los diámetros no tuvieron diferencias significativas entre ellas, manteniéndose en un rango de 4.55 y 12.5 mm en el diámetro. Las alturas mantuvieron la misma tendencia sin diferencias significativas, manteniéndose entre 15.5 y 29.4 cm. En la cuarta semana, T3 todavía mantenía el liderazgo con el 100 % de la TS, la mayoría de ápices tuvieron un deterioro notable por lo que se removió ese simpodio y ahora se consideró el valor de la altura del simpodio inferior. El desarrollo foliar y floral continuó, pudiendo apreciarse algunos brotes axilares. Hubo diferencias significativas en los diámetros, destacándose el T1 con 6.14 mm, seguidos del T3 con 7.35 mm. Las alturas se mantuvieron sin distinción entre ellas, con un intervalo de 16.6 a 30.4 cm. En la semana cinco, la TS aún la lideraba T3, pero ahora con 77.77 %, se volvió a apreciar deterioro en los ápices y se consideró para la altura nuevamente el simpodio anterior. Las hojas, flores y brotes axilares continuaron su desarrollo, con algunas flores ya comenzaban a formar frutos. En el diámetro del tallo no hubo diferencias significativas, tampoco en las alturas variando entre 4.87 y 12.01 mm y entre 18.3 y 38.6 cm, respectivamente. En la última semana, T3 mantuvo el liderazgo en la TS con 82.22 %, había mayor desarrollo de hojas, flores y frutos en el tallo principal y en los secundarios. No hubo diferencia significativa para el diámetro quedando entre 5.11 y 11.53 mm. Las alturas tampoco tuvieron diferencias significativas entre ellas, oscilando los valores de 21 y 43.3 cm. El crecimiento de los esquejes con tratamiento previo de  $\text{KNO}_3$  se puede visualizar en la Figura 15.

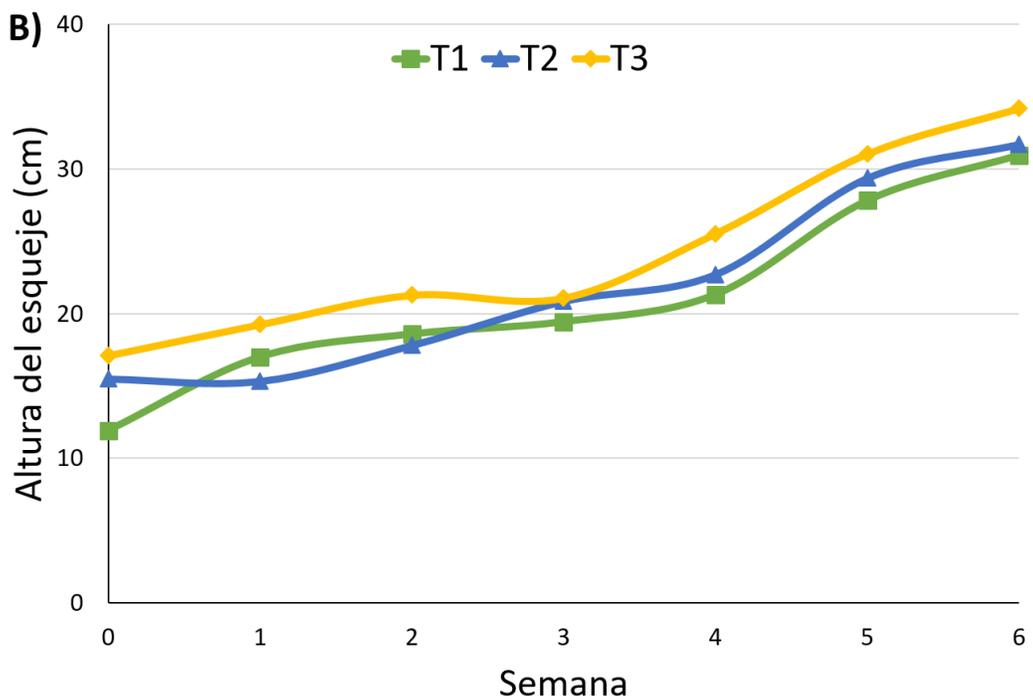
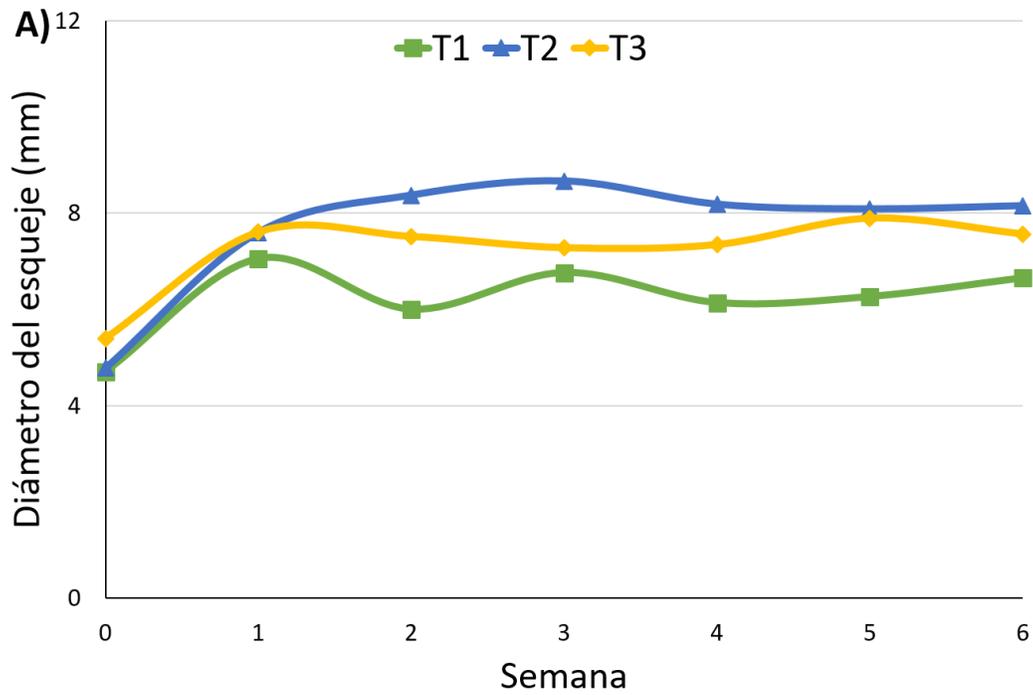


Figura 15: Resultados obtenidos a partir del tratamiento previo de  $KNO_3$ , y sus mediciones a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los esquejes. B) Alturas de los esquejes.

El análisis de varianza de los resultados finales de los diámetros del tallo se muestra en la Tabla 8. El análisis de varianza de los resultados finales de las alturas se muestra en la Tabla 9. Los promedios de los valores obtenidos en cada semana, así como sus desviaciones estándar y los resultados de la prueba de Tukey se ilustran en la Tabla 10.

*Tabla 8: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Nitrato de Potasio.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Diámetros</i>	15.503	6.000	2.584	11.431	0.000	2.996
<i>Semanas</i>	7.872	2.000	3.936	17.414	0.000	3.885
<i>Error</i>	2.712	12.000	0.226			
<i>Total</i>	26.088	20				

*Tabla 9: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Nitrato de Potasio.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Alturas</i>	737.164	6.000	122.861	124.242	0.000	2.996
<i>Semanas</i>	38.546	2.000	19.273	19.490	0.000	3.885
<i>Error</i>	11.867	12.000	0.989			
<i>Total</i>	787.577	20.000				

Tabla 10: Diámetros y alturas obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Nitrato de Potasio. La columna S se refiere al número de la Semana correspondiente Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

<b>DIÁMETROS (mm)</b>			
<b>S</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
0	4.708 ± 1.502 <sup>a</sup>	4.518 ± 1.502 <sup>a</sup>	6.173 ± 1.502 <sup>a</sup>
1	7.053 ± 2.019 <sup>a</sup>	7.602 ± 2.019 <sup>a</sup>	7.610 ± 2.019 <sup>a</sup>
2	6.003 ± 2.107 <sup>b</sup>	8.375 ± 2.107 <sup>a</sup>	7.517 ± 2.107 <sup>ab</sup>
3	6.765 ± 2.119 <sup>a</sup>	8.670 ± 2.119 <sup>a</sup>	7.282 ± 2.119 <sup>a</sup>
4	6.140 ± 1.993 <sup>b</sup>	8.187 ± 1.993 <sup>a</sup>	7.348 ± 1.993 <sup>ab</sup>
5	6.267 ± 2.486 <sup>a</sup>	8.090 ± 2.486 <sup>a</sup>	7.898 ± 2.486 <sup>a</sup>
6	6.655 ± 1.901 <sup>a</sup>	8.157 ± 1.901 <sup>a</sup>	7.567 ± 1.901 <sup>a</sup>
<b>ALTURAS (cm)</b>			
0	11.917 ± 3.369 <sup>b</sup>	15.483 ± 3.369 <sup>a</sup>	17.100 ± 3.369 <sup>a</sup>
1	17.000 ± 3.683 <sup>ab</sup>	15.317 ± 3.683 <sup>b</sup>	19.250 ± 3.683 <sup>a</sup>
2	18.583 ± 4.457 <sup>a</sup>	17.800 ± 4.457 <sup>a</sup>	21.288 ± 4.457 <sup>a</sup>
3	19.433 ± 4.489 <sup>a</sup>	20.850 ± 4.489 <sup>a</sup>	21.083 ± 4.489 <sup>a</sup>
4	21.317 ± 5.127 <sup>a</sup>	22.700 ± 5.127 <sup>a</sup>	25.533 ± 5.127 <sup>a</sup>
5	27.817 ± 7.519 <sup>a</sup>	29.367 ± 7.519 <sup>a</sup>	31.050 ± 7.519 <sup>a</sup>
6	30.950 ± 9.307 <sup>a</sup>	31.700 ± 9.307 <sup>a</sup>	34.200 ± 9.307 <sup>a</sup>

### Control

En el arranque del experimento no diferencia significativa alguna en el diámetro ni en la altura, manteniéndose con valores entre 2.53 y 7.4 mm y entre 10.5 y 22.8 cm, respectivamente. En la primera semana del experimento, T2 se destacó de los otros tratamientos, y manteniendo al 100 % la TS. El diámetro tuvo diferencias significativas donde se destacó T3 con 4.91 mm, seguido por T1 con 6.79 mm. En la altura no hubo diferencias significativas, manteniéndose entre 10 y 21 cm. Para la segunda semana, T2 se mantuvo nuevamente con la TS en 100 %.

Pero los ápices manifestaron un ligero deterioro, por lo que se consideró el simpodio anterior para la altura. Respecto al diámetro y la altura no una diferencia significativa, manteniéndose entre 5.05 y 11.01 mm y entre 11 y 26.5 cm, respectivamente. En la tercera semana T1 Y T2 lideraron la TS con un 94.44 % de sobrevivientes, el deterioro continuó y ya se podían apreciar algunos brotes foliares a lo largo del tallo, Los diámetros no tuvieron diferencias significativas entre ellas, manteniéndose en un rango de 3.4 y 12.04 mm en el diámetro. Las alturas mantuvieron la misma tendencia sin diferencias significativas, manteniéndose entre 9 y 31.4 cm. En la cuarta semana, T1 Y T2 redujeron sus sobrevivientes, pero mantenían el liderazgo con el 88.89 % en la TS. Aunque en los tres tratamientos los ápices se acentuó más el deterioro, se volvió a tomar el simpodio anterior. Esto se hizo más notorio en T2. También hubo mayor desarrollo foliar en los esquejes. No hubo diferencias significativas en los diámetros, que estuvieron con un intervalo entre 3.56 y 7.81 mm. Las alturas se mantuvieron sin distinción entre ellas pese a la reducción de ésta, con un intervalo de 10 y 33 cm. En la semana cinco, la TS ahora la lideraron T2 y T3, pero con 77.78 %. El desarrollo foliar se mantuvo y aparecieron los primeros botones y chupones en la mayoría de esquejes. En el diámetro del tallo no hubo diferencias significativas, quedando en un rango entre los 3.76 y 8.57 mm. En las alturas tampoco hubo ningún cambio, manteniendo los valores en un intermedio entre 17 y 40.5 cm. En la última semana, T3 se mantuvo en el liderazgo con 77.78 % de la TS. Hubo mayor desarrollo foliar y floral, mientras que los brotes axilares comenzaron a desarrollarse. Respecto al diámetro del tallo, no hubo diferencia significativa, manteniéndose entre 3.76 y 8.34 mm. Las alturas tampoco tuvieron diferencias significativas entre ellas, oscilando los valores desde los 19.2 y 46.3 cm. En la Figura 16 se puede visualizar el desarrollo de los esquejes con este tratamiento previo.

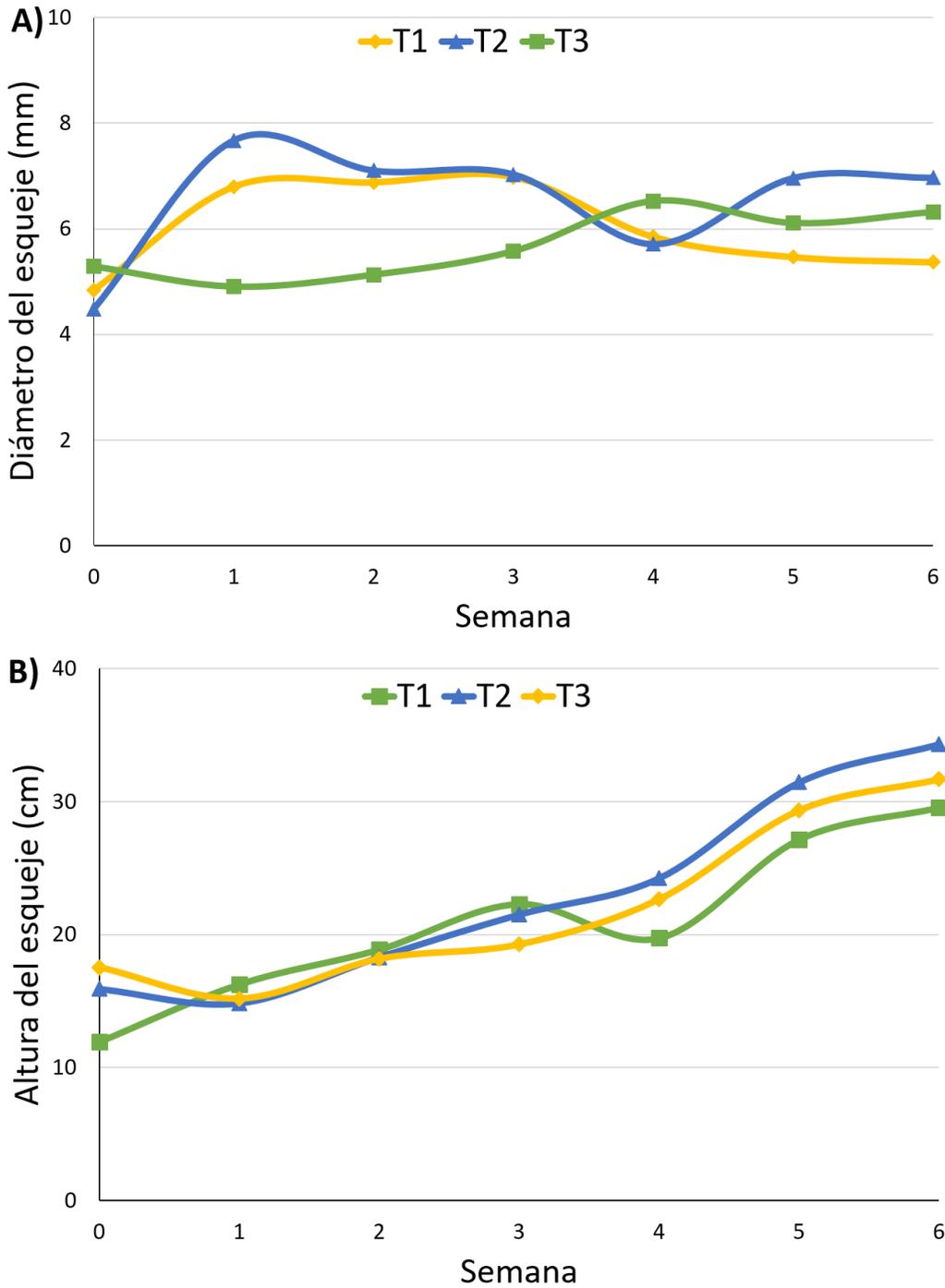


Figura 16: Resultados obtenidos a partir del tratamiento previo de CTRL, y sus mediciones a través de las seis semanas de experimentación. A) Diámetros de los esquejes. B) Alturas de los esquejes.

El análisis de varianza de los resultados finales de los diámetros de los tallos se muestra en la Tabla 11. El análisis de varianza de los resultados finales de las

alturas se muestra en la Tabla 12. Los promedios de los valores obtenidos en cada semana, así como el error estándar y los resultados de la prueba de Tukey se ilustran en la Tabla 13.

*Tabla 11: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Control.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Diámetros</i>	5.764	6	0.961	1.416	0.286	2.996
<i>Semanas</i>	2.694	2	1.347	1.985	0.180	3.885
<i>Error</i>	8.144	12	0.679			
<i>Total</i>	16.602	20				

*Tabla 12: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Control.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Alturas</i>	764.944	6	127.491	39.617	0.000	2.996
<i>Semanas</i>	15.547	2	7.774	2.416	0.131	3.885
<i>Error</i>	38.616	12	3.218			
<i>Total</i>	819.108	20				

Tabla 13: Diámetros y alturas obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes obtenidos del tratamiento previo de Control. La columna S se refiere al número de la Semana correspondiente Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

<b>DIÁMETROS (mm)</b>			
<b>S</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
0	4.843 ± 1.761 <sup>a</sup>	4.482 ± 1.761 <sup>a</sup>	5.287 ± 1.761 <sup>a</sup>
1	6.793 ± 2.251 <sup>ab</sup>	7.677 ± 2.251 <sup>a</sup>	4.905 ± 2.251 <sup>b</sup>
2	6.875 ± 2.463 <sup>a</sup>	7.103 ± 2.463 <sup>a</sup>	5.130 ± 2.463 <sup>a</sup>
3	6.725 ± 2.809 <sup>a</sup>	7.033 ± 2.809 <sup>a</sup>	5.577 ± 2.809 <sup>a</sup>
4	5.847 ± 1.671 <sup>a</sup>	5.708 ± 1.671 <sup>a</sup>	6.527 ± 1.671 <sup>a</sup>
5	5.465 ± 1.875 <sup>a</sup>	6.965 ± 1.875 <sup>a</sup>	6.108 ± 1.875 <sup>a</sup>
6	5.367 ± 1.826 <sup>a</sup>	6.967 ± 1.826 <sup>a</sup>	6.318 ± 1.826 <sup>a</sup>
<b>ALTURAS (cm)</b>			
0	11.917 ± 3.024 <sup>b</sup>	15.900 ± 3.024 <sup>a</sup>	17.533 ± 3.024 <sup>a</sup>
1	16.250 ± 4.632 <sup>a</sup>	14.817 ± 4.632 <sup>a</sup>	15.167 ± 4.632 <sup>a</sup>
2	18.867 ± 5.330 <sup>a</sup>	18.283 ± 5.330 <sup>a</sup>	18.167 ± 5.330 <sup>a</sup>
3	22.300 ± 7.383 <sup>a</sup>	21.500 ± 7.383 <sup>a</sup>	19.250 ± 7.383 <sup>a</sup>
4	19.733 ± 8.063 <sup>a</sup>	24.233 ± 8.063 <sup>a</sup>	22.650 ± 8.063 <sup>a</sup>
5	27.150 ± 8.884 <sup>a</sup>	31.450 ± 8.884 <sup>a</sup>	29.350 ± 8.884 <sup>a</sup>
6	29.550 ± 9.816 <sup>a</sup>	34.317 ± 9.816 <sup>a</sup>	31.683 ± 9.816 <sup>a</sup>

### 5.2.1. Parte Radicular

#### Porcentaje de Materia Seca de la Raíz

En los resultados finales del porcentaje de MSr mostraron una gran heterogeneidad entre las proporciones de esqueje enterrado, no se distinguió una diferencia significativa entre los tratamientos medidos, comportándose de manera muy similar en los grupos previamente tratados. Tampoco hubo efecto en la proporción enterrada del esqueje.

La Figura 17 expone el comportamiento mencionado anteriormente. El orden de los Tratamientos Previos (TP) se mantienen. Mientras, los análisis de varianza de cada Tratamiento Experimental (TE) se concentran en la Tabla 14 para el porcentaje de MSr. Al comparar estos resultados con los de los grupos de semillas previamente mencionados, la materia seca a partir de semilla representa alrededor de dos quintas partes de la materia obtenida a partir de esquejes.

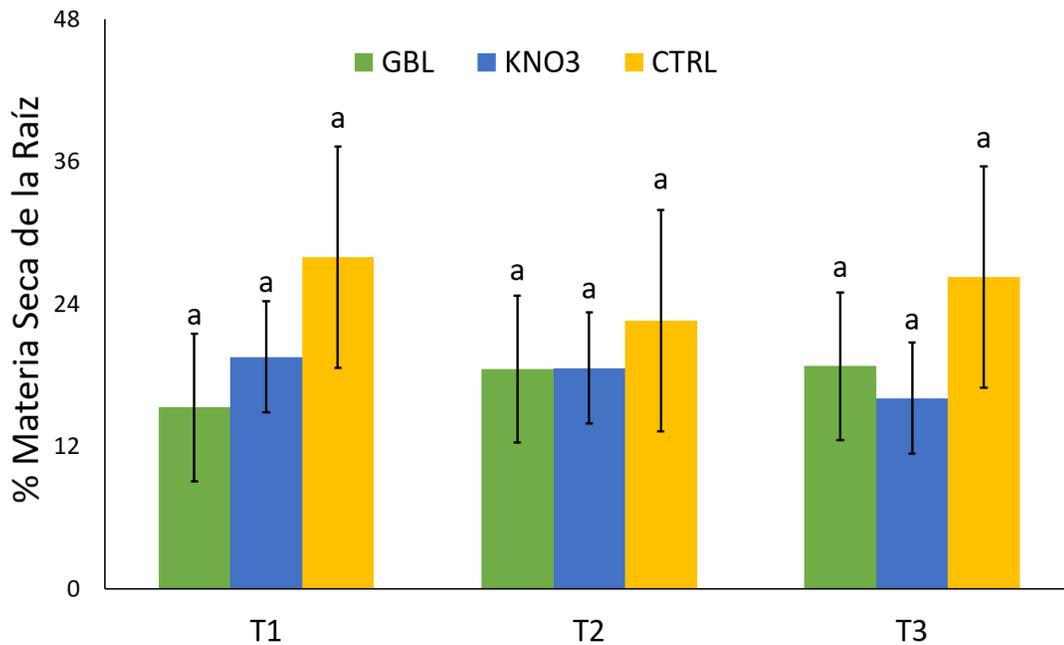


Figura 17: Resultados de la medición del porcentaje de materia seca de la biomasa generada a partir de los esquejes enterrados en las tres proporciones.

### Índice de Biomasa de la Raíz

Los resultados de índice de biomasa no manifestaron una uniformidad clara. Aun así, no se marcó diferencia significativa alguna entre las proporciones de esqueje enterrados. Generando un promedio en los resultados finales, éstos fueron ligeramente diversos en cada grupo de los tratamientos previos con GBL, KNO<sub>3</sub> y CTRL, evidenciando que es casi irrelevante la proporción del esqueje enterrado. Este comportamiento se ilustra en la Figura 18.

Tabla 14: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo del porcentaje de Materia Seca de la Raíz de los esquejes.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
TP	111.057	2	55.529	9.693	0.029	6.944
TE	2.480	2	1.240	0.216	0.814	6.944
Error	22.914	4	5.729			
Total	136.451	8				

Los resultados de los análisis de varianza se muestran en la Tabla 15. Al compararse éstos resultados de los de plántulas obtenidas a partir de semilla, con su tratamiento previo correspondiente, la biomasa desarrollada a partir de esquejes fue poco más de la mitad que la desarrollada a partir de semilla. Esto debido a que el Índice de Biomasa también considera el follaje desarrollado, y como se explicó anteriormente, la parte aérea generada a partir de semilla se desarrolló de forma homogénea, pero al mismo tiempo, en una tasa menor que la del esqueje. Se le atribuye esto al estado fenológico de ambas plantas.

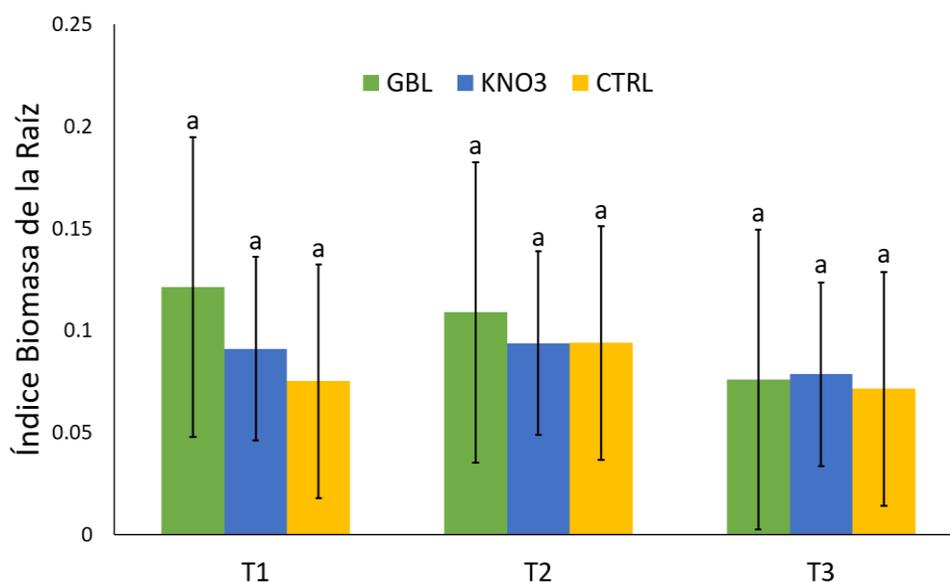


Figura 18: Resultados del conteo de biomasa generada a partir de los esquejes enterrados en las tres proporciones.

Tabla 15: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo del Índice de Biomasa de la Raíz de los esquejes.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
TP	0.0007	2	0.0004	2.408	0.206	6.944
TE	0.0009	2	0.0005	3.090	0.154	6.944
Error	0.0006	4	0.0002			
Total	0.0023	8				

Los promedios de los valores de las raíces obtenidos al finalizar el experimento, en el Porcentaje de Materia Seca de la Raíz y en el Índice de Biomasa de la Raíz, junto con el error estándar y los resultados de la prueba de Tukey se plasman en la Tabla 16.

Tabla 16: Valores del Porcentaje de Materia Seca de la Raíz e Índice de Biomasa de la Raíz obtenidos en las tres proporciones de siembra de los esquejes. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

TP	TE	MSr (%)	IBr
	1	0.121 ± 0.073 <sup>a</sup>	15.288 ± 6.206 <sup>a</sup>
GBL	2	0.109 ± 0.073 <sup>a</sup>	18.503 ± 6.206 <sup>a</sup>
	3	0.076 ± 0.073 <sup>a</sup>	18.766 ± 6.206 <sup>a</sup>
	1	0.091 ± 0.045 <sup>a</sup>	19.533 ± 4.691 <sup>a</sup>
KNO <sub>3</sub>	2	0.094 ± 0.045 <sup>a</sup>	18.613 ± 4.691 <sup>a</sup>
	3	0.079 ± 0.045 <sup>a</sup>	16.053 ± 4.691 <sup>a</sup>
	1	0.075 ± 0.057 <sup>a</sup>	27.951 ± 9.325 <sup>a</sup>
CTRL	2	0.094 ± 0.057 <sup>a</sup>	22.607 ± 9.325 <sup>a</sup>
	3	0.072 ± 0.057 <sup>a</sup>	26.288 ± 9.325 <sup>a</sup>

### 5.3. Análisis general de los esquejes

Los resultados obtenidos al final del experimento no marcaron alguna discrepancia significativa que señalara como definitiva si alguna de las 3

proporciones experimentales para el desarrollo de la plántula a partir de esqueje fue mejor que las otras dos. Tampoco se marcó alguna diferencia significativa en el desarrollo de biomasa marcado por la proporción experimental. Por ello, se realizó un nuevo análisis de los resultados, pero ahora descartando la separación por el tratamiento previo de la planta madre, considerando los resultados entre todos los tratamientos como parte de un mismo experimento, la Tabla 17 plasma el análisis correspondiente a los resultados de los diámetros de los tallos, mientras que la Tabla 18 contiene al correspondiente a las alturas.

*Tabla 17: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de los diámetros de todos los esquejes*

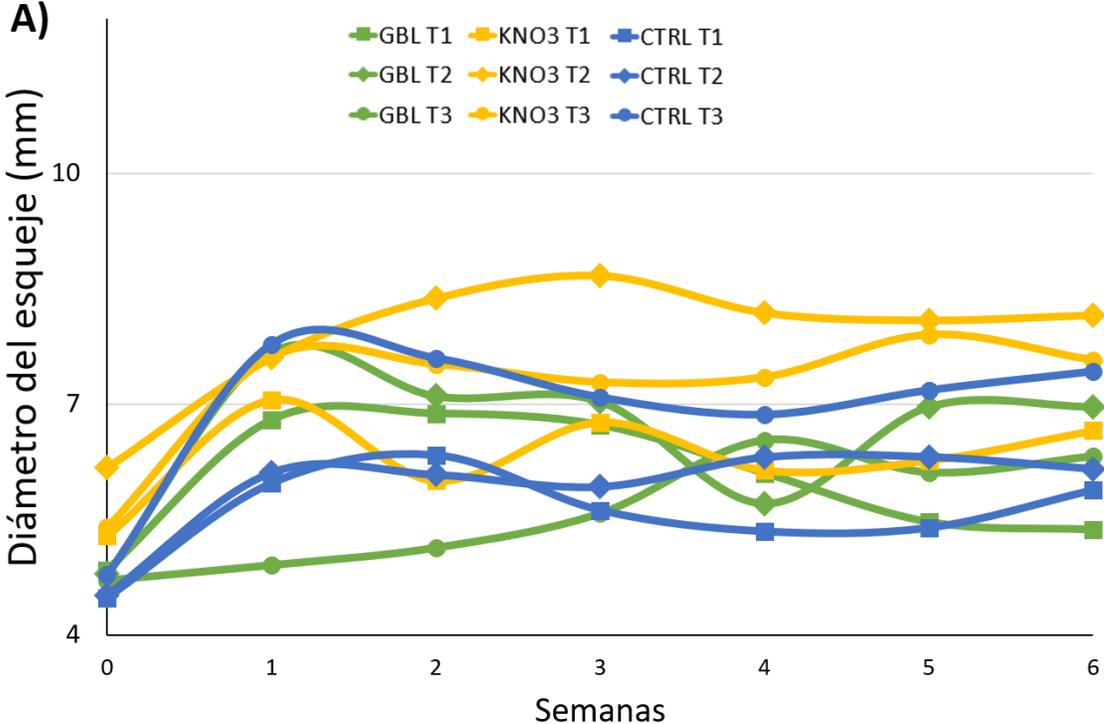
<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Diámetros</i>	23.022	6	3.837	16.904	2.267E-10	2.295
<i>Semanas</i>	34.534	8	4.317	19.018	1.750E-12	2.138
<i>Error</i>	10.895	48	0.227			
<i>Total</i>	68.451	62				

*Tabla 18: Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo de las alturas de todos los esquejes.*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<i>Alturas</i>	2078.058	6	346.343	150.442	2.218E-29	2.295
<i>Semanas</i>	114.494	8	14.312	6.217	1.682E-05	2.138
<i>Error</i>	110.504	48	2.302			
<i>Total</i>	2303.055	62				

Estos últimos análisis marcaron diferencias significativas entre los valores del diámetro y de altura, los promedios de cada semana junto con el error medio y

los resultados de la prueba de Tukey están en la Tabla 19. En forma general los esquejes enraizados se comportaron de manera muy similar, se puede apreciar el comportamiento a lo largo de las seis semanas de los diámetros y las alturas en la Figura 19.



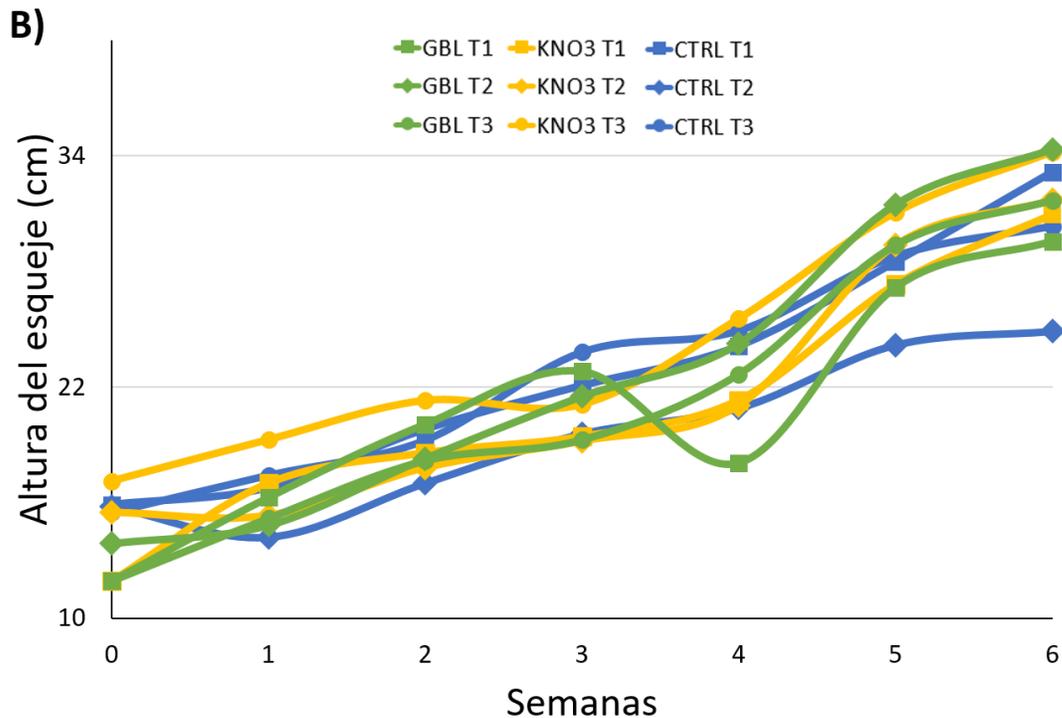


Figura 19: A) Resultados de los diámetros de todos los esquejes durante las seis semanas de experimentación. B) Resultados de las alturas de todos los esquejes en el mismo periodo de tiempo.

Concluidas las seis semanas del experimento, en la mayoría de los esquejes establecidos no solo habían desarrollado tejido radicular; también habían desarrollado tejido foliar como hojas, e incluso brotes de flores en algunos esquejes a partir de la semana 4. Durante la semana 6 del experimento, casi todos los esquejes sobrevivientes contenían flores, y hasta flores ya polinizadas en las que se comenzaba a formar el fruto, en aproximadamente el 60 % de los esquejes pertenecientes al Tratamiento previo de  $\text{KNO}_3$ .

Al momento de concluir el experimento de los esquejes no hay una diferencia clara en el efecto de los tratamientos previos de embebido en la planta madre. Por lo que no es posible atribuir el este mismo efecto como responsable del desarrollo vegetal más acelerado en los esquejes provenientes de los tratamientos de Giberelinas o Nitrato de Potasio. Es posible que estos tratamientos hayan tenido un efecto de bio-estimulación y se haya inducido una mayor respuesta al estrés, pero no hubo pruebas al respecto.

Por otro lado, diferentes estudios señalan una fuerte relación entre un enraizamiento adecuado y un desarrollo vegetal adecuado (Rivera, 2018) remarcan la importancia de una raíz sana que le permite a la planta absorber minerales, agua y oxígeno del sustrato, además de proporcionar anclaje al suelo, y la producción compuestos foto asimilados que permiten el desarrollo vegetal en plantas esquejadas. En el caso de esquejes de *Solanum tuberosum L. var. yungay*, Gonza-Carnero et al., (2020) señala una relación directa entre giberelinas y la elongación vegetal, producto de un buen desarrollo radical.

En el caso de tomate, Cuesta & Mondaca, (2014) marca la importancia de un adecuado desarrollo radicular en el menor tiempo posible, ayuda a reducir el tiempo de uso de los recursos como el invernadero y en consecuencia una reducción de los costos de producción de la plántula. Por su parte, Moreno-Pérez et al., (2016) recomienda manipular lo menos posible el esqueje para reducir la posibilidad de generar daños en la raíz, pues estos provocarían un flujo de foto asimilados hacia la raíz para tener una regeneración radicular, lo que provoca un menor flujo de azúcares hacia el desarrollo de tejido foliar, floral o el cuajado de los frutos.

Las bolsas de sustrato que se usaron en el experimento generaron un cepellón, que redujo el posible daño radicular en los esquejes. Además, se logró reducir el tiempo en el cambio de etapa fenológica entre la germinación y el desarrollo vegetal, disminuyendo los costos de producción implicados, desde la mano de obra hasta los insumos involucrados y requeridos en ese periodo de tiempo. Con lo que se lograría acelerar el proceso de producción de ésta u otras variedades de tomate cherry negro, así como también podría reducir los tiempos de espera entre cada ciclo de producción, el establecimiento del cultivo, y finalmente disminuir la dependencia de semilla que repercute en los rezagos económicos y sociales en el país.

## **6. CONCLUSIONES**

El crecimiento de planta de jitomate cherry negro a través de esqueje es una buena alternativa para la producción de este tipo de jitomate; ya que desarrollo de la parte foliar, paralelamente con el desarrollo radicular, es justo como se espera de una plántula generada a partir de semilla.

El experimento se limitó a la producción de plántula, en el que la proporción de esquejes resultó poco significativa para el establecimiento de plántulas viables. Se esperaría que, en un futuro la plántula generada por éste método al ser llevada a producción intensiva se comporte de forma similar a la planta madre en la velocidad de crecimiento y la generación de racimos florales. La perspectiva a futuro es evaluar los frutos cosechados a partir de esqueje para determinar los valores en los análisis espectrofotométricos de la planta madre.

## 7. APÉNDICE

### 7.1. Cualidades Físico-Químicas

Son diversas las características que podrían determinar la calidad de la producción de tomate. Son requeridas por la industria para la transformación de la materia prima agrícola, o bien su consumo en fresco. Las que son referenciadas más comúnmente usadas son:

#### 7.1.1. *Peso de fruto*

El peso del fruto se determinó mediante el uso de una balanza de precisión. Se reporta en g (Monge Pérez & Loría Coto, 2019)

#### 7.1.2. *Tamaño del fruto*

Se determinó el ancho ecuatorial, así como el largo del fruto, se usó un vernier digital reportando mm (Mun et al., 2021)

#### 7.1.3. *Total de Sólidos Suspendidos*

Es referencia de los azúcares acumulados en el fruto, como resultado del proceso fotosintético que madura los ácidos orgánicos en azúcares resultantes del proceso. Estos azúcares quedan suspendidos en el puré de tomate, para esta evaluación se usó de un refractómetro, el resultado se reportó en ° Brix (NMX-F-112-1970., 1970).

#### 7.1.4. *Color de piel*

Es el mayor atractivo de los tomates cherry negros, pero se logra describir más adecuadamente con valores estandarizados en el sistema Munsell, considerando valores de tono (H), valor (V) y croma (C). Se utilizó un colorímetro (Model-CR-10, Konica Minolta, Japan) (Chavan & Sakhale, 2020).

#### 7.1.5. *Acidez titulable*

Es la determinación de los ácidos orgánicos del tomate que se encuentran libres en el interior del fruto y dan su característico sabor. Se usó la inhibición de la reacción de ácido málico con hidróxido de sodio como estándar, y se usa el % de acidez (Chavan & Sakhale, 2020).

### 7.1.6. pH

Es el nivel de acidez contenido en la fruta cosechada. Si el valor es muy ácido, la fruta aún necesita madurar. Por el contrario, si es muy bajo, la fruta se ha pasado de madura y puede ser rechazada por el consumidor. Se usó un potenciómetro para su determinación en el puré del tomate y se reportó como pH (NMX-F-317-S-1978., 1978).

## 7.2. Compuestos Fitoquímicos

Otra forma de incentivar el nivel de aceptación que el consumidor puede tener hacia la variedad de tomate cherry negro con la que se trabajó, es mediante la concentración de los compuestos fitoquímicos. Estos compuestos son una de las formas que usa el tomate para defenderse del entorno, y paralelamente dependiendo su tipo y concentración, son responsables de las diferencias en el tamaño del fruto, el sabor, el aroma y el color de piel de esta y otras variedades de tomate presentes en el mercado. El tomate cherry de color negro, contiene una gran cantidad de metabolitos secundarios, cuya interacción crea una potente actividad antioxidante que no solo actúan en defensa del tomate, su capacidad defensiva continúa activa y favor del ser humano, luego de ser ingeridos en fresco, e incluso cocinados (Chaudhary et al., 2018; Salehi et al., 2019). Estos compuestos son usados referente del contenido nutricional de ésta variedad de tomate cherry negro y por sus potenciales aportes a la salud humana, hacen del tomate un alimento nutracéutico. Los compuestos fitoquímicos se cuantifican mediante la obtención de un extracto metanólico y se determinaron cuatro grupos más estudiados en tomate (Bhandari et al., 2016; Hassan et al., 2018):

### 7.2.1. Polifenoles

Son estructuras con la capacidad de inhibir radicales libres y quelatar algunos metales reduciendo el excedente de radicales libres al interior de la célula. (Choudhary et al., 2018). Dichas estructuras son derivadas principalmente de los ácidos benzoicos y cinámico. Su constante reestructuración le permite captar radicales libres que puedan afectar procesos intracelulares. (Tomas et al., 2017). Se midieron en función de la reacción del reactivo Folin-Ciocalteu con carbonato de

sodio (Libbey & Walradt, 1968), con ácido gálico como estándar. De la reacción resultante, se leyó su absorbancia a 765 nm. El valor obtenido se reportó en mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/g de PS.

### 7.2.2. Flavonoides

Son estructuras con diversos grupos hidroxilo que tiene la capacidad de localizar y neutralizar radicales libres que podrían generar aún más radicales libres dentro de la célula. Sirven como defensa ante la luz ultravioleta, absorbiéndola, y le otorgan su pigmentación a las hojas, tallos y frutas negro (Jeena et al., 2017). El contenido de flavonoides se midió mediante el uso de catequina como estándar (Heimler et al., 2006). La absorbancia de la reacción final se leyó a 510 nm. Se reportan en mg de equivalentes de catequina (Eq Cat) /g de PS.

### 7.2.3. Carotenoides

Son pigmentos que protegen el aparato fotosintético disipando el exceso de energía en calor, eliminando radicales libres y disminuyendo la peroxidación de lípidos (Tiwari et al., 2017). Su determinación realizó por medio de la lectura de absorbancia de 446 nm (Barba et al., 2006). Los valores obtenidos se sustituyeron en la ecuación de Lambert-Beer (3) y se informaron como mg de  $\beta$ -caroteno/g de PS.

$$\beta - caroteno = \frac{Abs_{446} * M * DF}{\epsilon * D} \quad (3)$$

Abs<sub>446</sub> es la lectura de la absorbancia, M es la masa molecular (536.8726 M), DF es el factor de dilución (10.87 g/mol),  $\epsilon$  es el coeficiente de extinción molar (24,686 /M cm) y D es la distancia (1 cm).

### 7.2.4. Antocianinas

Es la respuesta que las plantas usan para protegerse del daño por la radiación ultravioleta, dándoles una tonalidad azul o púrpura como en todas las variedades de *berries* como las zarzamoras, arándanos azules, etc. (Champa et al., 2015; Ooe et al., 2016). El conteo de antocianinas se usa cianidina-3-glucósido como estándar (Teng et al., 2014). Se hicieron reaccionar 50  $\mu$ L de extracto

metanólico con 175  $\mu$ L de cloruro de potasio (0,25 M, pH 1) y se midió la absorbancia a 510 y 700 nm. Se repitió el procedimiento anterior con el extracto metanólico y 175  $\mu$ L de acetato de sodio (0,4 M, pH 4,5). Cada valor de absorbancia obtenido se sustituyó en la ecuación (4). Éste valor resultante se sustituyó en la ecuación (5). Al final se reporta en mg de equivalentes de Cianidina-3-glucósido (mg Cy-3-Gly) /g PS.

$$\Delta Abs = [(Abs_{510} - Abs_{700})_{pH1} - (Abs_{510} - Abs_{700})_{pH4.5}] \quad (4)$$

$$TAcyC = \frac{(\Delta Abs * MW * D) * 4.5 * 1,000}{\epsilon} \quad (5)$$

TAcyC es el contenido total de antocianinas,  $\Delta Abs$  la diferencia de absorbancias antes mencionada, M es la constante del peso molecular de cianidina-3-glucósido (449.2 g), D es el número de diluciones,  $\epsilon$  es el coeficiente de extinción de cianidina- 3-glucósido (26, 900 L/mol cm) y W es el peso de la muestra (g).

### 7.3. Actividad antioxidante

La capacidad de producir los compuestos fitoquímicos, mencionados en el apartado anterior, les otorga a las plantas la capacidad de inhibir o eliminar radicales libres nocivos. Esta capacidad en las plantas es conocida como actividad antioxidante, que puede estar liderada por alguno de los compuestos fitoquímicos ya mencionados, o la acción cooperativa de estos. Esta actividad se puede midió a través de la inhibición de radicales estables como 2,2, -difetil-1-picrylhydrazyl o DPPH, o el radical 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) o ABTS,

#### 7.3.1. DPPH

La inhibición del radical DPPH se determinó con el método informado por (Brand-Williams et al., 1995). La lectura de absorbancia se realizó a 517 nm. El porcentaje de inhibición se determinó reemplazando los valores de absorbancia obtenidos en la lectura del extracto metanólico, dentro de la ecuación (6). La actividad antioxidante vía DPPH se reportó en mmol equivalentes de Trolox/ g PS.

$$\% \text{ Inhibition} = \left[ 1 - \frac{Abs_{sample} - Abs_{blank}}{Abs_{control}} \right] * 100 \quad (6)$$

### 7.3.2. ABTS

Para medir la actividad antioxidante mediante la inhibición del radical ABTS (Re et al., 1999), se realizó una lectura de absorbancia a 734 nm del extracto metanólico y el radical. Se determinó el porcentaje de inhibición, sustituyendo los valores de absorbancia en la ecuación (6). La actividad antioxidante se reporta en mmol equivalentes de Trolox/g de PS.

## 7.4. Actividad enzimática específica

La planta de tomate no cuenta únicamente con los fitoquímicos y sus interacciones como línea de defensa en contra de los radicales libres. De hecho, éstos compuestos son la línea defensiva secundaria ante el ataque o el exceso de radicales libres. La primera línea defensiva son una serie de enzimas que participan directamente en la inhibición de los radicales libres, o activan una serie de reacciones en cadena que permite la producción acelerada de los fitoquímicos ya mencionados. Y al igual que estos compuestos, las enzimas continúan activas al ser ingeridas, lo que refuerza el papel del tomate como un alimento nutracéutico (Ilahy et al., 2018; Martí et al., 2016). En estas rutas defensivas las enzimas más estudiadas son:

### 7.4.1. Superóxido dismutasa-(SOD)

Enzima destinada a la eliminación de radicales libres a nivel mitocondrial y en otros compartimentos celulares (Kaciene et al., 2014). Su medición se logró mediante la inhibición por reducción fotoquímica de Nitro Blue Tetrazolium (Hayat et al., 2018). A la reacción se le midió la absorbancia a 560 nm, y se reportó como Unidades de Proteína (UP)/mg de Peso Seco (PS).

### 7.4.2. Catalasa (CAT)

Es la enzima protagonista en primera línea de defensa que elimina a los radicales libres que están presentes en diferentes sitios y tejidos al interior de las plantas y minimizando la toxicidad causada por ROS (Afiyanti & Chen, 2014). Se

midió mediante la reacción decreciente de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y su absorbancia se leyó en 240 nm, expresando UP/mg PS.

#### 7.4.3. Prolina (PRO)

Tipo de enzima que estabiliza estructuralmente a la proteína y amortigua el estado oxido-reducción celular y el pH citosólico en situaciones de producción agrícola altamente estresantes como la sequía (Lee et al., 2018). Para su determinación se usó Prolina ácida como estándar y a la reacción resultante se leyó a una absorbancia a 520 nm, reportando µM PRO/g PS.

#### 7.4.4. Fenilalanina amoníaco-liasa (PAL)

Se ha identificado como la enzima precursora para la producción de metabolitos secundarios, tales como las antocianinas y los flavonoides (Toscano et al., 2018). Para su medición se usó la liberación de ácido cinámico, y su lectura de absorbancia de 290 nm. La actividad de PAL se expresó en UP/ mg PS.

### 7.5. Resultados

Los resultados obtenidos de las cualidades físico-químicas de la variedad Kumato se reportan en la Tabla 17, y la cuantificación de compuestos fitoquímicos, y de las actividades antioxidantes y enzimáticas de esta variedad de tomate cherry negro en la Tabla 18. Se reportan los valores promediados junto con la desviación estándar respectiva.

*Tabla 19: Resultados de las cualidades físico-químicas del tomate cherry negro.*

Características Físico-Químicas	Valor Promedio	Unidad
Peso	29.343 ± 1.745	g
Ancho	38.116 ± 0.998	mm
Largo	34.871 ± 0.546	mm
	8.467 ± 0.321	H
Colorimetría	3.567 ± 0.907	V
	2.167 ± 1.966	C
Total Solidos Suspendidos	6.025 ± 0.629	° Brix
Acidez Titulable	5.075 ± 0.096	%
Nivel de Acidez	2.033 ± 0.563	pH

Tabla 20: Resultados de las lecturas espectrofotométricas del tomate cherry negro.

Lecturas Espectrofotométricas	Valor Promedio	Unidad
	2.659 ± 0.343	g EAG /g PS
<i>Compuestos Fenólicos</i>	1.581 ± 0.492	g Cat Eq /g PS
	2.631 ± 1.755	mg Cy-3-Gly/g PS
	33.399 ± 1.667	g β-C /g PS
	<i>ABTS</i>	87.057 ± 3.406
<i>DPPH</i>	692.229 ± 28.740	μM TEAC/g PS
<i>Actividad Enzimática</i>	6402.746 ± 0.010	μM Prolina/g PS
	0.175 ± 0.002	U SOD/mg prot.
	5.688 ± 0.152	U CAT/mg prot.
	1.880 ± 0.171	U PAL/mg prot.

Aunque por sí mismos los resultados para la variedad Kumato parecen no significar mucho, al compararse con los de otras variedades de tomates cherry se remarca todo el poder antioxidante esta variedad de tomate estudiada. Es una pena que la información respecto al tomate cherry negro no esté tan accesible, e incluso su consumo está reservado para la cocina gourmet. Por lo que en la serie de experimentos de los que se derivó el presente trabajo, se dedicaron a divulgar los aportes potenciales a la salud humana que el tomate cherry negro contiene. Con esto en mente, al momento de comprender todos los pasos del proceso agronómico que involucra la producción de tomate cherry negro, identificamos el punto más importante desde el punto de vista económico y cómo remarca más la brecha entre los productores. Esta es una propuesta para flanquear esta limitante económica y combatir la falta de oportunidades que tanto ha afectado a los productores mexicanos.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afiyanti, M., & Chen, H. J. (2014). Catalase activity is modulated by calcium and calmodulin in detached mature leaves of sweet potato. *Journal of Plant Physiology*, 171(2), 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.003>
- AMHPAC, A. M. de H. P. (2021). *Portal de Negocios y Mercados*.
- Barba, A. I., Hurtado, M., Sánchez, M. C., Fernández Ruiz, V., & López Sáenz De Tejada, M. (2006). Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and  $\beta$ -carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95(2), 328–336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.028>
- Barrios, M., Buján, A., Debelis, S., Sokolowski, A., Blasón, Á., Rodríguez, H., López, S., Grazia, J., Mazo, C., & Gagey, M. (2014). RELACION BIOMASA DE RAIZ / BIOMASA TOTAL DE SOJA ( Glycine max ) EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA Root Biomass / Total Ratio in Soybean ( Glycine max ) Under Two Tillage Systems. *Tierra Latinoamericana*, 32(3), 221–230.
- Bhandari, S. R., Chae, Y., & Lee, J. G. (2016). Assessment of phytochemicals, quality attributes, and antioxidant activities in commercial Tomato cultivars. *Horticultural Science and Technology*, 34(5), 677–691. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20160071>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. <https://doi.org/10.3906/sag-1411-35>
- Bustamante Orañegui, J. de D., Vázquez Alvarado, J. M. P., Trujillo Campos, A., Reyes Reyes, J., & Escalona Flores, O. (2013). *MANUAL PARA EL CULTIVO DEL JITOMATE EN BIOESPACIO E INVERNADERO* (P. y A. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural (ed.); 1era edici). Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Progreso.
- Champa, W. A. H., Gill, M. I. S., Mahajan, B. V. C., & Arora, N. K. (2015). Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3607–3616. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1422-7>
- Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A. K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 2833–2849. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3221-z>
- Chavan, R. F., & Sakhale, B. K. (2020). Studies on the effect of exogenous application of salicylic acid on post-harvest quality and shelf life of tomato fruit Cv. Abhinav. *Food Research*, 4(5), 1444–1450. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(5\).131](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).131)
- Choudhary, K. K., Chaudhary, N., Agrawal, S. B., & Agrawal, M. (2018). Reactive

Oxygen Species: Generation, Damage, and Quenching in Plants During Stress. In *Reactive Oxygen Species in Plants* (pp. 89–116).

COSMOCEL. (2012). *Promotor de desarrollo radicular*. 1–3.

Cuesta, G., & Mondaca, E. (2014). Effect of an auxin-based bioregulator on growth of tomato seedlings. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 20(2), 215–222. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.01.001>

FAGRO, F. A. de M. (2019). *Prorroot* (p. 2). FAGRO.

FAOSTAT. (2021). *Data Indicators*. <http://faostat.fao.org/>

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, F. (2019). *Agri-food Outlook. Panorama Agroalimentario*.

Gonza-Carnero, K. A., López-Medina, S. E., Gil Rivero, A. E., Mostacero-León, J., López-Zabaleta, A., De La Cruz-Castillo, A. J., & Villena Zapata, L. (2020). Enraizamiento de esquejes de tallo juvenil de *Solanum tuberosum* mediante la aplicación del ácido 2,4-diclorofenoxiacético. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–10. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1604](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1604)

Hanan A., A. M., & Mondragón P., J. (2009). *Malezas de México*. Heike Vibrans. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm>

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies Jr., F. T., & Geneve, R. L. (2014). *Hartmann & Kester 's Plant Propagation Principles and Practices Hartmann Kester Davies Geneve Eighth Edition* (1st Editio). Pearson.

Hassan, M. R., Julie, S. N., Rahul, S., Rahman, M. M., & Jamal, U. (2018). Influence of organic leachates on growth and yield of Black Cherry Tomato. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*, 7(1), 79–77.

Hayat, S., Ahmad, H., Ali, M., Ren, K., & Cheng, Z. (2018). Aqueous garlic extract stimulates growth and antioxidant enzymes activity of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Scientia Horticulturae*, 240(December 2016), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.011>

Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., Vincieri, F. F., & Romani, A. (2006). Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chemistry*, 99(3), 464–469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.057>

Heuvelink, E. (2018). *Tomatoes*. Wageningen University & Research.

Ilahy, R., Siddiqui, M. W., Tlili, I., Hdider, C., Khamassy, N., & Lenucci, M. S. (2018). Biofortified Vegetables for Improved Postharvest Quality: Special Reference to High-Pigment Tomatoes. In *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00015-9>

Isaeva, V. V., Shukalyuk, A. I., & Akhmadieva, A. V. (2008). Stem cells in

- reproductive strategy of asexually reproducing invertebrates. *Russian Journal of Marine Biology*, 34(1), 1–8. <https://doi.org/10.1134/s106307400801001x>
- Jeena, G. S., Phukan, U. J., & Shukla, R. K. (2017). Adjustment of Plant Metabolism Against Reactive Oxygen Species: Past and Present. In *Reactive Oxygen Species in Plants* (pp. 217–242).
- Kaciene, G., Žaltauskaite, J., Milče, E., & Juknys, R. (2014). Role of oxidative stress on growth responses of spring barley exposed to different environmental stressors. *Journal of Plant Ecology*, 8(6), 605–616. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv026>
- Kumar, V., & Van Staden, J. (2017). New insights into plant somatic embryogenesis: an epigenetic view. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(9). <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2487-5>
- Lee, M. R., Kim, C. S., Park, T., Choi, Y. S., & Lee, K. H. (2018). Optimization of the ninhydrin reaction and development of a multiwell plate-based high-throughput proline detection assay. *Analytical Biochemistry*, 556(June), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2018.06.022>
- Li, T., Yang, X., Yu, Y., Si, X., Zhai, X., Zhang, H., Dong, W., Gao, C., & Xu, C. (2018). Domestication of wild tomato is accelerated by genome editing. *Nature Biotechnology*, 36(12), 1160–1163. <https://doi.org/10.1038/nbt.4273>
- Libbey, L. M., & Walradt, J. P. (1968). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Lipids*, 3(6), 561. <https://doi.org/10.1007/BF02530903>
- Lopez-Corona, B. E., Mondaca-Fernandez, I., Moroyoqui, P. G., Peña, J. H., Meza-montenegro, M. M., Balderas-cortes, J. D. J., Vargas-lopez, J. M., & Rueda-puente, E. O. (2019). TÉCNICA DE ESQUEJES EN AGRICULTURA: UNA ALTERNATIVA A LA VANGUARDIA. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 505–517.
- Martí, R., Roselló, S., & Cebolla-Cornejo, J. (2016). Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. In *Cancers* (Vol. 8, Issue 6, pp. 1–28). <https://doi.org/10.3390/cancers8060058>
- Monge Pérez, J. E., & Loría Coto, M. (2019). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. *Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica Del Sistema de Estudios de Posgrado*, 17(1), 1–20. <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i1.2488>
- Moreno-Pérez, E. C., Felipe Sánchez-Del Castillo, F., González-Molina, L., Contreras-Magaña, E., & Messina-Fernández, R. U. (2016). MÉTODOS DE ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) HIDROPÓNICO. *Agro Productividad*, 9(10), 50–55.
- Mun, H. I., Kwon, M. C., Lee, N. R., Son, S. Y., Song, D. H., & Lee, C. H. (2021). Comparing Metabolites and Functional Properties of Various Tomatoes Using

- Mass Spectrometry-Based Metabolomics Approach. *Frontiers in Nutrition*, 8(April), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.659646>
- NMX-F-112-1970., Test Method for Determination of Soluble Solids Reading 3 (1970). <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-038-2002.PDF>
- Ooe, E., Ogawa, K., Horiuchi, T., Tada, H., Murase, H., Tsuruma, K., Shimazawa, M., & Hara, H. (2016). Analysis and characterization of anthocyanins and carotenoids in Japanese blue tomato. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 8451, 1–9. <https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1091715>
- Ramírez-Valadez, M. G., Hernández-Aguilar, M. Á., & Ramírez Arias, A. (2020). EFECTO DE MEZCLAS DE SUSTRATOS Y ENRAIZADORES COMERCIALES EN PLÁNTULAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.). *Ciencia e Innovación*, 3(2), 731–739.
- Razifard, H., Ramos, A., Della Valle, A. L., Bodary, C., Goetz, E., Manser, E. J., Li, X., Zhang, L., Visa, S., Tieman, D., Van Der Knaap, E., & Caicedo, A. L. (2020). Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. *Molecular Biology and Evolution*, 37(4), 1118–1132. <https://doi.org/10.1093/molbev/msz297>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rivera, J. M. (2018). Raíces saludables significan larga vida productiva para cacao, café y otros perennes leñosos. *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)*.
- Rodríguez López, S. Y., Seminario Cunya, A., Vásquez Arce, V., & Seminario, J. F. (2022). Rendimiento agronómico de ocho cultivares de yacón (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Rob.) provenientes del norte peruano. In *Siembra* (Vol. 9, Issue 1, p. e3630). <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3630>
- SADER. (2019). *Reporte del mercado de tomate rojo*. 1–20.
- Salehi, B., Sharifi-Rad, R., Sharopov, F., Namiesnik, J., Roojintan, A., Kamle, M., Kumar, P., Martins, N., & Sharifi-Rad, J. (2019). Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. *Nutrition*, 62, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.01.012>
- SIAP, S. de A. y D. R. (2021). *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. 1–2.
- Steven, J., Cortes, A., & Jovanna, A. G. (2019). *Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal Main hormonal regulators and their interactions in plant growth*.

- Teng, H., Lee, W. Y., & Choi, Y. H. (2014). Optimization of Ultrasonic-Assisted Extraction of Polyphenols, Anthocyanins, and Antioxidants from Raspberry (*Rubus coreanus* Miq.) Using Response Surface Methodology. *Food Analytical Methods*, 7(7), 1536–1545. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9786-2>
- Tiwari, S., Tiwari, S., Singh, M., Singh, A., & Prasad, S. M. (2017). Generation mechanisms of reactive oxygen species in the plant cell: An overview. In *Reactive Oxygen Species in Plants: Boon Or Bane - Revisiting the Role of ROS* (pp. 1–22). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119324928.ch1>
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R. D., Sagdic, O., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2017). Industrial processing versus home processing of tomato sauce: Effects on phenolics, flavonoids and in vitro bioaccessibility of antioxidants. *Food Chemistry*, 220, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.201>
- Toscano, S., Ferrante, A., Leonardi, C., & Romano, D. (2018). PAL activities in asparagus spears during storage after ammonium sulfate treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 140(November 2017), 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.010>
- Velasco-Alvarado, M. D. J., Castro-Brindis, R., Avitia-García, E., Castillo-González, A. M., & Sahagún-, J. (2017). Proceso de unión del injerto de empalme en jitomate ( *Solanum lycopersicum* L .). *Revista Mexicana de Ciencia Agrícola*, 8(5), 1051–1058.
- Velasco Hernández, E., Nieto Ángel., R., & Navarro López., E. R. (2011). *EI Cultivo del Tomate*. January 2012, 5–12. <https://doi.org/10.13140/2.1.3179.9044>