

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Calidad De Fruto Y Rendimiento De Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
Enriquecido Con Selenito De Sodio

Por:

AVIMAE L DÍAZ GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Calidad De Fruto Y Rendimiento De Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
Enriquecido Con Selenito De Sodio

Por:

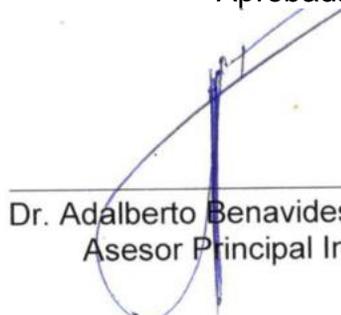
AVIMAE L DÍAZ GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

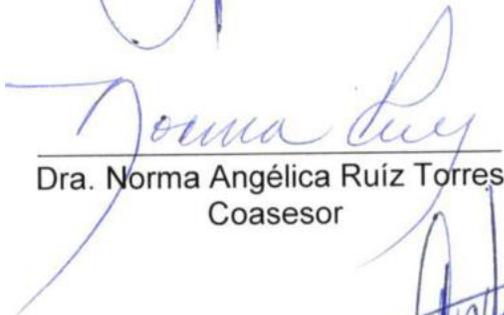
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal Interno



Dr. Álvaro Morelos Moreno
Asesor Principal Externo



Dra. Norma Angélica Ruíz Torres
Coasesor



Dra. Ileana Vera Reyes
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2022

Declaración de no plagio

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

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

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

Pasante



Avimael Díaz González

DEDICATORIAS

A mis **papás** Fabian Díaz y Lupita González que a pesar de todos los obstáculos que se nos presentaron, nunca me dejaron solo y sé que nunca lo harán, gracias a ellos soy lo que soy y sin su apoyo no hubiera podido cumplir todos mis objetivos. Son los mejores padres, hoy este logro también es de ustedes así que siéntanse orgullosos por lo que hemos logrado juntos. LOS AMO.

A mis **hermanos** Fabian y Rogelio por haberme apoyado moralmente, me enseñaron muchas cosas y siempre han estado para mí. Los amo demasiado y siempre voy a estar para ustedes.

Al amor de mi vida, **mi Janis hermosa**, mi hija preciosa. Eres una personita muy pequeñita, pero has sabido entender la situación por la cual pasamos y me has apoyado mucho, eres mi inspiración para seguir adelante y luchar en la vida. Por ti haré que todo lo que nos pongamos en mente, lo logremos juntos. Nunca te voy a dejar mi amor.

A mi familia hermosa, mis sobrinitos Roge, Dany, Romina, a mis cuñadas Karen y Fany y a todos mis tíos, padrinos, mis abuelitos, los quiero mucho.

A mi **padrino sacerdote**, el PBRO Daniel Rodríguez Macedo por haberme apoyado siempre y haberme acercado más a Dios, fue una persona excelente y este logro se lo dedico con todo mi amor hasta donde este.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida.

A mi universidad, mi **Alma Terra Mater** la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme tanto conocimiento y por haberme formado profesionalmente.

A una persona muy especial que llegó a mi vida cuando menos lo esperaba, a **mi novia** Deniss Dena por haberme apoyado en mi carrera profesional, en los momentos más difíciles, por darme su amor sin pedirme nada a cambio. Eres una persona increíble mi amor y gracias a ti, hoy estoy cumpliendo una meta más, juntos vamos a lograr grandes cosas.

A la familia **Valdés Dena**, María Magdalena y Edmundo Valdéz por abrirme las puertas de su casa, invitarme un plato de comida, se convirtieron en mi familia y gracias a ustedes, cumplo esta meta. Me siento muy feliz por haberme encontrado a unas personas tan increíbles, quiero que sepan que los quiero demasiado y siempre los voy a llevar en mi corazón. Gracias por todo familia.

A **La Rondalla de Saltillo**, cumplí el sueño de haber pertenecido a esta gran agrupación y gracias a la rondalla conocí a muchas personas que hoy en día se han convertido en parte importante de mi vida.

A mis **amigos**, Rafa, Gerardo, Efrén, Manuel, Sabdiel, Miguel, Víctor, juntos vivimos demasiadas cosas en la agrupación y me apoyaron mucho en mi etapa en la universidad, tantos escenarios juntos, tantos caminos recorridos.

A los ingenieros Vicente Lugo, Jesús Galileo, Heriberto Lara, Víctor Tapia, Dionisio Sánchez, han sido buenos amigos y he aprendido mucho de ustedes.

De manera muy especial a mi amigo **Víctor García Márquez**, gracias a ti pude llevar a cabo este proyecto y me ayudaste demasiado. Sabes que te aprecio y a pesar de este proyecto, vivimos cosas muy bonitas.

A los miembros del comité asesor, Dr. Álvaro Morelos Moreno, Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dra. Norma Angélica Ruíz Torres, y Dra. Ileana Vera Reyes, por la confianza, apoyo y asesoría brindada durante mis estudios y trabajo de tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Declaración de no plagio	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
HIPÓTESIS.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Importancia del Selenio en los cultivos.....	3
Enriquecimiento del Selenio en los cultivos.....	3
Beneficios del enriquecimiento con Selenio en los cultivos.....	3
El tomate	4
Clasificación taxonómica.....	4
Requerimientos del cultivo.....	5
Importancia comercial del tomate.....	5
Producción de tomate en invernadero.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Ubicación del experimento.....	7
Distribución de los tratamientos	7
Diseño experimental.....	7
Análisis estadístico.....	8

Imbibición de la semilla con Na₂SeO₃	8
Siembra	9
Trasplante	9
Aplicación foliar de Na₂SeO₃ en el dosel de la planta	9
Fertilización y riego	9
Rendimiento de peso fresco de fruto por racimo y por planta	10
Firmeza de los frutos de tomate	10
Sólidos solubles totales	10
Diámetro ecuatorial y polar de los frutos	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Corte de fruto de tomate por racimo	11
Rendimiento de peso fresco de fruto por racimo y por planta	11
Sólidos Solubles Totales	13
Firmeza	14
Diámetro ecuatorial de los frutos	15
Diámetro polar de los frutos	16
CONCLUSIONES	17
BIBLIOGRAFÍA	18
ANEXO. Análisis de varianza	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de los tratamientos.

Tabla 2. Fechas de aplicación de tratamientos con Na_2SeO_3 en el cultivo de tomate.

Tabla 3. Fechas de corte de fruto maduro de tomate por racimo y por planta.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Peso fresco de fruto por racimo de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 .

Figura 2. Rendimiento acumulado de peso fresco de fruto por racimo de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 .

Figura 3. Concentración de sólidos solubles totales en los frutos de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 .

Figura 4. Firmeza de frutos de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 .

Figura 5. Diámetro ecuatorial de frutos de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 .

Figura 6. Diámetro polar de frutos de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 .

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo de febrero a julio del año 2020 en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica y ventilación natural, del Departamento de Ciencias del Suelo, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coah., México. El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de Na_2SeO_3 en el rendimiento y calidad del fruto de tomate saladet híbrido %El Cid F1+de hábito de crecimiento indeterminado (Harris Moran®). Se utilizó selenio (Se) en forma de selenito de sodio (Na_2SeO_3) en concentraciones de 1 y 2 mg L⁻¹, aplicado por imbibición en la semilla y aspersion foliar, y en forma combinada (imbibición y foliar). La imbibición de las semillas en Na_2SeO_3 se realizó una única ocasión, en 10 mL con las soluciones diluidas correspondientes, por 24 h. La aplicación de Na_2SeO_3 vía foliar en el dosel de la planta se realizó una vez por semana a partir del primer brote floral, hasta el final de la cosecha. Las plántulas de tomate se trasplantaron a los 40 días después de la siembra en bolsas de polietileno de color negro con capacidad de 8 L con una mezcla de turba - perlita 1:1 (v/v). La fertilización consistió en solución nutritiva Steiner diluida en el agua de riego dirigido. El cultivo se manejó a 10 racimos y se realizaron 9 cortes de fruto. Se obtuvo el peso fresco de fruto por racimo y por planta. Se utilizó un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y cinco repeticiones, siendo un tomate de un racimo la unidad experimental. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$) en el programa Infostat versión 2016. El tratamiento de selenito de sodio en 2 mg/L aplicado vía foliar y por imbibición en las semillas, permitió obtener rendimientos de fruto de tomate de hasta 13.1 ± 0.2 kg/planta, equivalentes a 39.2 ± 0.6 kg/m² (3 planta/m²), respectivamente. La aplicación combinada (imbibición y foliar) de Na_2SeO_3 no contribuyó a incrementar la calidad y el rendimiento de fruto.

Palabras clave: Selenio, imbibición, calidad de fruto, rendimiento, *Solanum lycopersicon* L.

INTRODUCCIÓN

El Selenio (Se) es un elemento cuya ingesta a través del consumo de alimentos que lo contienen, permite desarrollar funciones importantes en el metabolismo humano, que incluyen efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antivirales sobre el sistema inmune, prevención de cáncer, desarrollo cerebral, y aspectos cognitivos (García-Márquez *et al.*, 2020).

El selenio (Se) es absorbido por los tejidos vegetales en forma inorgánica, principalmente como selenito de sodio (Na_2SeO_3), selenato de sodio (Na_2SeO_4) y nanopartículas de selenio (nSe).

El Se en forma de Na_2SeO_3 tiene efectos positivos en los antioxidantes (Xu *et al.*, 2003; Hajiboland y Amjad, 2007; Ramos *et al.*, 2010; Becvort-Azcurra *et al.*, 2012) y aplicado en bajas concentraciones aumenta la capacidad antioxidante, la concentración de vitamina C y la tolerancia al estrés en las semillas y plántulas (Djanaguiraman *et al.*, 2010).

El tomate es un cultivo hortícola cuyo consumo reduce el riesgo de contraer cáncer y enfermedades cardiovasculares, debido a sus propiedades antioxidantes no enzimáticas como el licopeno, flavonoides y ácido ascórbico (vitamina C) (Herrera-Flores *et al.*, 2014), y distintas proteínas enzimáticas como la glutatión peroxidasa (GPX), catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD) y ascorbato peroxidasa (APX), que cumplen con diferentes funciones benéficas y de protección dentro del sistema humano (León-Calvario, 2018; Ciruelos-Calvo *et al.*, 2008).

La biofortificación con micronutrientes en los cultivos básicos es una herramienta útil para combatir la deficiencia de micronutrientes en los cultivos (Welch y Graham, 2004). La biofortificación con Se para un cultivo específico o familia de cultivos aún no está bien definida, en relación con la especie química, la vía de aplicación y la concentración.

Se plantea la aplicación de Se en la forma de Na_2SeO_3 por imbibición de la semilla aspersión foliar en la planta en el cultivo de tomate.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de Na_2SeO_3 en el rendimiento y calidad del fruto de tomate.

Objetivos Específicos

- Aplicar los tratamientos de Na_2SeO_3 por imbibición en la semilla y aspersión foliar en la planta.
- Cuantificar la firmeza y los sólidos solubles totales en los frutos.
- Cuantificar el peso fresco de tomate por racimo y por planta.

HIPÓTESIS

La aplicación de selenito de sodio mejorará los indicadores de calidad de fruto y rendimiento de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Selenio en los cultivos

El selenito de sodio (Na_2SeO_3) y el selenato de sodio (Na_2SeO_4) son las formas inorgánicas del selenio (Se) más comunes que las plantas absorben del suelo (Yu *et al.*, 2019; do Nascimento-da Silva *et al.*, 2018). El Se en forma de Na_2SeO_3 tiene efectos positivos en los antioxidantes (Xu *et al.*, 2003; Hajiboland y Amjad, 2007; Ramos *et al.*, 2010; Becvort-Azcurra *et al.*, 2012) y aplicado en bajas concentraciones aumenta la capacidad antioxidante, la concentración de vitamina C y la tolerancia al estrés en las semillas y plántulas (Djanaguiraman *et al.*, 2010).

Enriquecimiento del Selenio en los cultivos

La biofortificación con micronutrientes en los cultivos básicos es una herramienta útil para combatir la deficiencia de micronutrientes en los cultivos (Welch y Graham, 2004). La biofortificación con Se para un cultivo específico o familia de cultivos aún no está bien definida, en relación con la especie química, la vía de aplicación y la concentración.

Beneficios del enriquecimiento con Selenio en los cultivos

Diferentes autores han encontrado efectos benéficos en el enriquecimiento de cultivos hortícolas con Se en forma de Na_2SeO_3 , a decir:

- Mayor rendimiento de tomate, biomasa y acumulación de Se, así como efectos positivos en la capacidad antioxidante total en el fruto en dosis de 10 a 20 mg/L (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).
- Aumento del ácido ascórbico y licopeno en tomate; efecto positivo en la actividad de las enzimas antioxidantes CAT, GPX y SOD; mejor expresión génica y una mayor transcripción de los genes *gpx*, *sod* y *apx*; y aumento en la capacidad antioxidante y el rendimiento con aplicaciones de 2 a 5 mg/L (Castillo-Godina, 2015).

- Mayor síntesis de enzimas antioxidantes, compuestos fenólicos y licopeno, y mayor rendimiento en tomate Cherry en concentraciones de 5 mg/L (Acalco-Hernández, 2018).
- Efecto positivo en el estado antioxidante y el contenido de vitamina C en plántulas de melón, lechuga y tomate, en aplicaciones de 0.1 y 1 mg/L por imbibición en semilla, 2 mg/L en la solución nutritiva, y 5 mg/L por aspersión foliar (De los Santos-Vázquez *et al.*, 2015).
- Aumento en el potencial óxido-reducción y de la enzima catalasa en lechuga en dosis de 5 a 10 mg/L (López-Gutiérrez *et al.*, 2015).
- Efecto positivo en el rendimiento y calidad de biomasa de guisante forrajero en la aplicación de 10 g/ha (Riaño Salas, 2019).
- Incremento en el contenido de antioxidantes, nutraceuticos y materia seca en brócoli con una dosis de 100 g/ha (Borghese y Stoffel, 2017).
- Incremento de biomasa y acumulación de Ca Se en la semilla de frijol con una concentración de 40 μ M (Hermosillo-Cereseres, 2012).
- El Se en bajas concentraciones estimula el crecimiento, y en altas concentraciones reduce la longitud de las raíces y la producción de biomasa, alterando la absorción y movimiento de los nutrientes en trigo cultivado en hidroponía (Guerrero *et al.*, 2014).

El tomate

El tomate es un cultivo hortícola cuyo consumo reduce el riesgo de contraer cáncer y enfermedades cardiovasculares, debido a sus propiedades antioxidantes no enzimáticas como el licopeno, flavonoides y ácido ascórbico o vitamina C (Herrera-Flores *et al.*, 2014),

Clasificación taxonómica

El tomate es una hortaliza de fruto de la familia de las Solanaceas, la nomenclatura de la especie *Lycopersicum esculentum* Mill fue sustituida por *Solanum lycopersicum* L. (López-Marín, 2017):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum* L.

Requerimientos del cultivo

El desarrollo y producción óptimos del cultivo de tomate requieren una temperatura ambiente entre 21-30 °C en el día y 18-21 °C en la noche; humedad del suelo menor del 50%; humedad relativa entre 70 y 80%; intensidad de luz de 12 horas por día. El tomate cultivado en suelo requiere texturas francas, buen drenaje, y pH entre 6.2 a 6.8, y cultivado en macetas con sustrato, requiere buena aireación y retención de humedad para el desarrollo de la raíz (Rodríguez *et al.*, 2001).

Importancia comercial del tomate

En 2014 México ocupó el décimo lugar como productor de tomate y el segundo lugar como exportador (FAO, 2017). En 2015 la producción de tomate para exportación en 2015, fue liderada por México (20.9%), Holanda (15.1%), España (12.7%), Turquía (7.3 %) y Marruecos (5.6 %); por otro lado los países con mayor importación de tomate fueron Estados Unidos (22.3 %), Alemania (10.7 %), Rusia (9.4 %) y Francia (7.7 %). La producción nacional de tomate en 2016 (Carreón, 2017) se concentró en Sinaloa (27.6%), San Luis Potosí (9.2%), Michoacán (7%), Baja California (6.7%), y Zacatecas (5.7%), Jalisco (4.7%), Baja California Sur (4%) y Sonora (3.8%). La superficie sembrada de tomate en campo abierto en México disminuyó a 85500, 75900 y 50596 ha en 1980, 2000 y 2015, respectivamente, e incrementó en condiciones de agricultura protegida (malla sombra e invernaderos) 2.9, 32.2 y 59.6% en 2005, 2010 y 2015. En 2016, México ocupó el primer lugar como exportador de tomate, con participación principalmente en los estados de Sinaloa, Michoacán, Zacatecas,

San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas, Michoacán, Oaxaca, Jalisco, Baja California Sur, Querétaro y Guanajuato.

Producción de tomate en invernadero

El invernadero es una estructura cerrada que genera un microclima interno que permite proteger el cultivo y controlar los factores que determinan su crecimiento y desarrollo óptimo, a decir, el clima (temperatura del aire, radiación solar, concentración de CO₂, humedad relativa), el agua y los fertilizantes (Stanghellini, 1992). La producción de tomate en campo abierto entre 1.5 y 2 kg/planta, incrementa más de 3 veces su rendimiento promedio en invernadero, entre 5 y 8 kg/planta (López-Marín, 2017). En México la superficie de invernaderos para la producción de hortalizas ha incrementado a 721, 3200, 10000 y 12000 ha en 1999, 2005, 2009 y 2012, respectivamente, y de malla sombra y macrotúnel había 8000 ha en 2012 (Benavides-Mendoza *et al.*, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El cultivo de tomate fue establecido en un invernadero tipo túnel con cubierta de polietileno semitransparente y ventilación natural con ventilas laterales, del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo Coah., México (25° 21q Latitud Norte y 101° 02q Longitud Oeste, altitud 1742 m).

Distribución de los tratamientos

Se utilizaron semillas de tomate saladette híbrido %i Cid F1+ de habito de crecimiento indeterminado (Harris Moran®). Se utilizó selenio (Se) en forma de selenito de sodio (Na_2SeO_3) en concentraciones de 0, 1 y 2 mg/L, aplicado por imbibición en la semilla y aspersion foliar (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de los tratamientos.

Forma de aplicación	Tratamiento (Se)
Por imbibición en la semilla	0 mg/L
	1 mg/L
	2 mg/L
Por aspersion foliar en la planta	0 mg/L
	1 mg/L
	2 mg/L
Por imbibición y aspersion foliar	1 mg/L
	2 mg/L

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y cinco repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde μ es la media, τ_i es el efecto de los tratamientos, y ε_{ij} el efecto del error.

Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza y una prueba de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$) en el programa Infostat versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

Imbibición de la semilla con Na_2SeO_3

Para la aplicación de Se vía imbibición en la semilla se preparó una solución madre de selenito de sodio (Na_2SeO_3) a 40 ppm, para lo cual, se pesaron 8.8 mg de Na_2SeO_3 (Sigma Aldrich®) y se aforaron a 100 mL con agua desionizada. Se prepararon las diluciones con 2.5 y 5 mL de solución madre, y se aforaron a 100 mL con agua desionizada para obtener los tratamientos de 1 y 2 mg/L, respectivamente. La aplicación de Se por imbibición en la semilla se realizó una única ocasión, sumergiendo las semillas en 10 mL con las soluciones diluidas correspondientes, por 24 h (Tabla 2).

Tabla 2. Fechas de aplicación de tratamientos con Na_2SeO_3 en el cultivo de tomate.

Actividad	Fecha
Imbibición de semillas con Na_2SeO_3	12 de febrero de 2020
Siembra	13 de febrero de 2020
Germinación	17-23 de febrero de 2020
Trasplante	24 de marzo de 2020
1ra aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	20 de mayo de 2020
2da aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	27 de mayo de 2020
3ra aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	05 de junio de 2020
4ta aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	12 de junio de 2020
5ta aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	19 de junio de 2020
6ta aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	26 de junio de 2020
7ma aspersión foliar de Na_2SeO_3 en la planta	03 de julio de 2020

Siembra

Las semillas de tomate embebidas por 24 h con Na_2SeO_3 para los tratamientos de 1 y 2 mg/L, y con agua destilada para los tratamientos control y aplicación posterior de Na_2SeO_3 vía foliar, se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades con una mezcla de turba - perlita 1:1 (v/v).

Trasplante

Las plántulas de tomate se trasplantaron a los 40 días después de la siembra en bolsas de polietileno de color negro con capacidad de 8 L con una mezcla de turba - perlita 1:1 (v/v).

Aplicación foliar de Na_2SeO_3 en el dosel de la planta

Para la aplicación de Se vía foliar en el dosel de la planta se preparó una solución madre de Selenito de Sodio (Na_2SeO_3) a 40 ppm, para lo cual, se pesaron 88 μg de Na_2SeO_3 y se aforaron a 1 L con agua desionizada. Se prepararon las diluciones con 25 y 50 mL de solución madre, y se aforaron a 1 L con agua desionizada para obtener los tratamientos de 1 y 2 mg/L, respectivamente. La aplicación vía aspersion foliar en el dosel de la planta se realizó una vez por semana a partir del primer brote floral, hasta el final de la cosecha. Un volumen de 1 L de la dilución de cada tratamiento fue rociado equitativamente al dosel de las plantas con una mochila aspersora. A partir del tercer racimo ya con fruto y hasta el final de producción, se aplicó un volumen de 2 L por planta por cada tratamiento.

Fertilización y riego

La fertilización consistió en una solución nutritiva tipo Steiner (Steiner, 1961) diluida en el agua de riego dirigido en concentraciones de 25, 50, 75 y 100% de acuerdo a la fenología del cultivo. El fertirriego se aplicó en 2 L/planta/día a partir del trasplante. El cultivo se manejó un tallo, y se realizó tutoreo y las poda de hojas inferiores al racimo con frutos maduros.

Rendimiento de peso fresco de fruto por racimo y por planta

El cultivo de tomate se manejó a 10 racimos y se realizaron 9 cortes de fruto maduro. En cada corte se cosecharon los tomates maduros por racimo para cada tratamiento, tomando por repetición una planta. Se obtuvo el peso fresco de fruto por racimo y por planta.

Firmeza de los frutos de tomate

La firmeza de los frutos de tomate se midió con un penetrómetro FT327 (QA Suplies LCC). La medición consistió en seleccionar el vial que marca el instructivo de acuerdo al fruto de estudio, coloca el vial y ejercer la fuerza una sola vez sobre el fruto hasta que el vial lo penetre, y registrar la firmeza en kg/cm^2 .

Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se cuantificaron con un refractómetro digital HI 96801 (HANNA Inc.) a los frutos de tomate utilizados para medir firmeza. La medición consistió en calibrar el refractómetro colocando agua destilada en el lector (lectura debe ser cero), limpiar el lector con papel, colocar algunas gotas del fruto sobre el lector, y registrar la lectura en °Brix. En cada una de las muestras se realizó el proceso de limpieza.

Diámetro ecuatorial y polar de los frutos

Con un calibrador vernier se midió el diámetro ecuatorial y polar (mm) de los frutos cosechados en la etapa de maduración de rojo claro a rojo maduro, de acuerdo a la Norma Mexicana para Tomate (1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Corte de fruto de tomate por racimo

Se realizaron 9 cortes de fruto maduro de tomate (Tabla 3).

Tabla 3. Fechas de corte de fruto maduro de tomate por racimo y por planta.

Corte	Fecha	Racimos
1	27 de mayo de 2020	1-2
2	5 de junio de 2020	1-3
3	12 de junio de 2020	1-5
4	19 de junio de 2020	2-6
5	26 de junio de 2020	2-7
6	3 de julio de 2020	4-8
7	10 de julio de 2020	5-8
8	17 de julio de 2020	5-9
9	31 de julio de 2020	8-10

Rendimiento de peso fresco de fruto por racimo y por planta

Los rendimientos por racimo oscilaron entre 1 y 3 kg en los primeros racimos, entre 0.4 y 1.6 kg en los racimos intermedios, y entre 0.3 y 3 kg en los últimos racimos. La aplicación foliar de 2 mg/L aportó los rendimientos más altos (racimos 2, 5, 6 y 7), por lo cual es recomendable utilizar esta concentración y vía de aplicación. La aplicación combinada (imbibición y foliar) de 2 mg/L resultó en los rendimientos más bajos en la mayoría de los racimos, por lo cual es recomendable no utilizar esta concentración y forma de aplicación (Figura 1).

El enriquecimiento de Se en 2 mg/L presentó rendimientos de hasta 12.89 y 13.26 kg/planta vía imbibición y foliar, respectivamente (Figura 2). Para una densidad de plantación de 3 planta/m² (3 plantas por metro lineal e hileras de 1 m), estos rendimientos corresponden a 38.67 kg/m² vía imbibición y 39.78 kg/m² vía foliar.

El enriquecimiento de Se de forma combinada (imbibición y foliar) en 1 y 2 mg/L presentó los rendimientos más bajos, de 9.51 y 8.28 kg/planta, respectivamente.

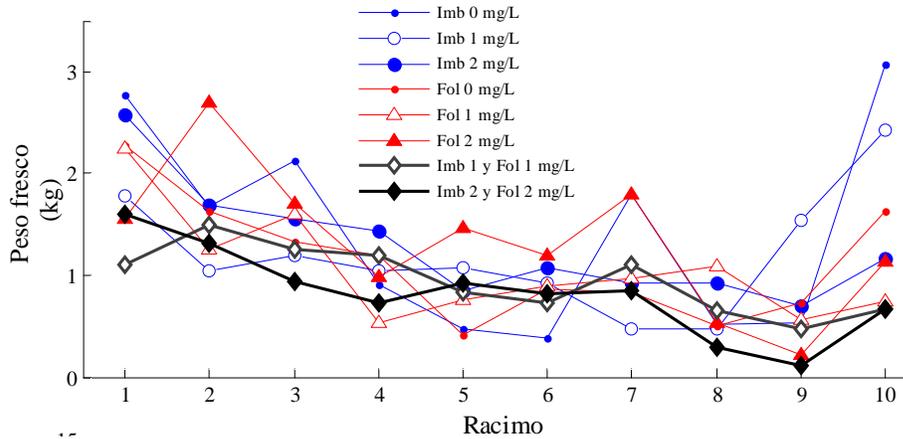


Figura 1. Peso fresco de fruto por racimo de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 . Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). Valores promedio \pm error estándar. $n = 5$.

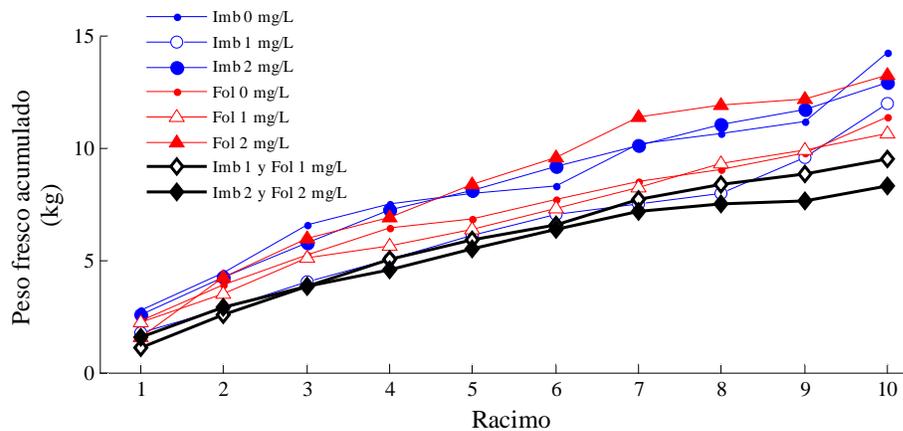


Figura 2. Rendimiento acumulado de peso fresco de fruto por racimo de tomate enriquecido con Na_2SeO_3 . Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). Valores promedio \pm error estándar. $n = 5$.

Sólidos Solubles Totales

La concentración de sólidos solubles totales en los frutos de tomate disminuyó significativamente (15.5%) con la aplicación de Se vía foliar en 1 mg/L (Figura 3).

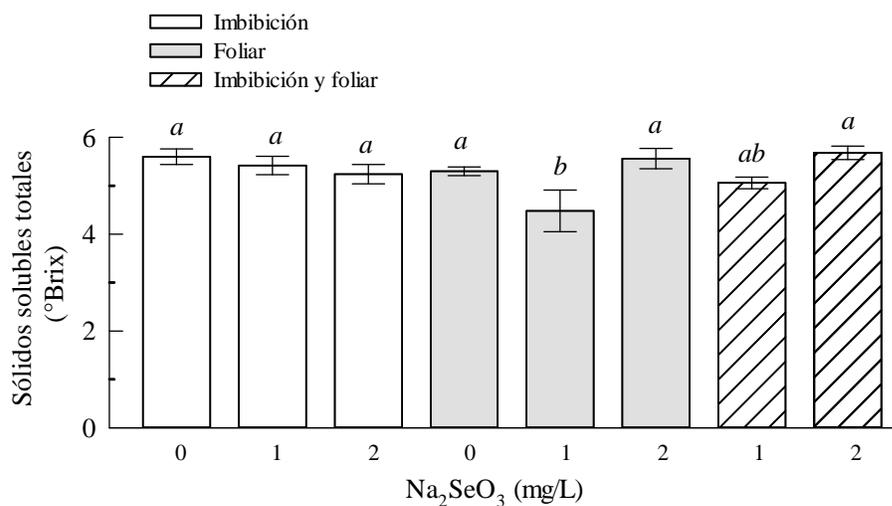


Figura 3. Concentración de sólidos solubles totales en los frutos de tomate enriquecido con Na₂SeO₃. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). Valores promedio \pm error estándar. $n = 5$.

García-Márquez (2020) obtuvo resultados similares en la concentración de sólidos solubles totales en los frutos de tomate biofortificado con Na₂SeO₃ en las dos vías de aplicación en concentraciones de 0 a 4 mg/L.

La adición Na₂SeO₃ en forma conjunta (imbibición en la semilla y aspersión foliar) no modificó la concentración de sólidos solubles totales en los frutos de tomate, por lo cual no es recomendable.

Firmeza

La firmeza de frutos de tomate incrementó significativamente (52%) con la aplicación de Se vía imbibición en 1 mg/L, y disminuyó significativamente (39.4%) con la aplicación de Se vía foliar en 2 mg/L. El enriquecimiento con Se con las dos vías de aplicación no modificó significativamente la firmeza de frutos (Figura 4).

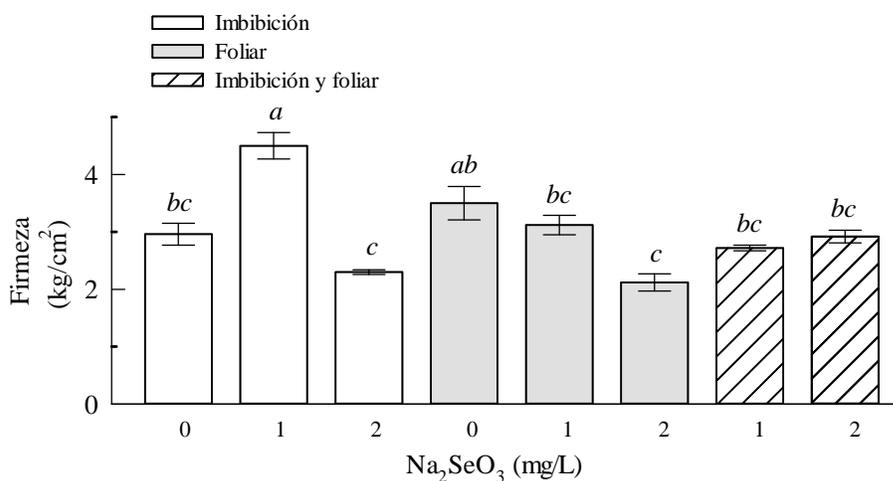


Figura 4. Firmeza de frutos de tomate enriquecido con Na₂SeO₃. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). Valores promedio \pm error estándar. $n = 5$.

García-Márquez (2020) obtuvo no-diferencia significativa en la firmeza de frutos de tomate biofortificado con Na₂SeO₃ en las dos vías de aplicación en concentraciones de 0 a 4 mg/L.

De acuerdo a los resultados, se recomienda evaluar concentraciones de Na₂SeO₃ en tomate cada 0.5 mg/L en las dos vías de aplicación.

Diámetro ecuatorial de los frutos

El diámetro ecuatorial de frutos de tomate disminuyó significativamente (10.1%) con la aplicación de Se vía imbibición en 1 mg/L, e incrementó significativamente (9.2 y 10.2%) con la aplicación vía foliar en 1 y 2 mg/L. El enriquecimiento con Se en forma combinada (imbibición y foliar) no modificó significativamente el diámetro ecuatorial de frutos (Figura 5).

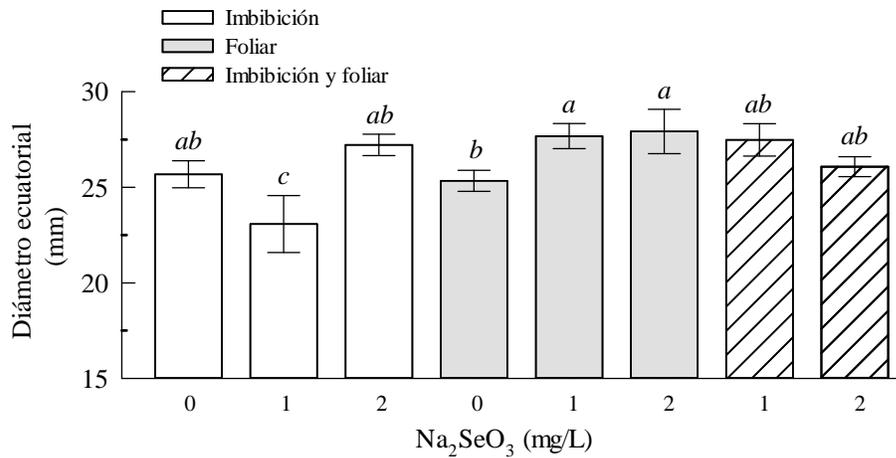


Figura 5. Diámetro ecuatorial de frutos de tomate enriquecido con Na₂SeO₃. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). Valores promedio \pm error estándar. $n = 5$.

Los diámetros ecuatoriales obtenidos en este experimento fueron menores a 38-52 mm, que es clasificado como fruto chico para tomate saladette de acuerdo a la Norma Mexicana para Tomate (1998).

Diámetro polar de los frutos

El diámetro polar de frutos de tomate disminuyó significativamente (9.6%) con la aplicación de Se vía imbibición en 1 mg/L, e incrementó significativamente (9.5%) con las dos vías de aplicación en 1 mg/L (Figura 6).

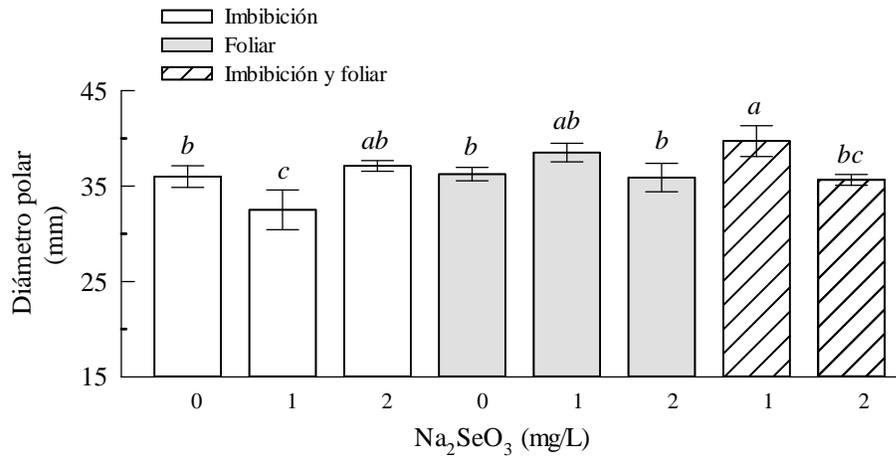


Figura 6. Diámetro polar de frutos de tomate enriquecido con Na₂SeO₃. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). Valores promedio \pm error estándar. $n = 5$.

CONCLUSIONES

El enriquecimiento de tomate con selenito de sodio en 2 mg/L aplicado vía foliar y por imbibición en las semillas, permitió obtener rendimientos de fruto de tomate de hasta 13.1 ± 0.2 kg/planta, equivalentes a 39.2 ± 0.6 kg/m² (3 planta/m²), respectivamente.

La aplicación combinada (imbibición y foliar) de Na₂SeO₃, no contribuyó a incrementar la calidad y el rendimiento de fruto, por lo cual no es recomendable realizarlo de esta manera.

BIBLIOGRAFÍA

- Acalco-Hernández R. 2018. Calidad nutraceútica y productividad de tomate Cherry tratado con Selenio iónico y absorbido en complejos de quitosán poliácido acrílico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila México. 48 p.
- Becvort-Azcurra A, Fuentes-Lara LO, Benavides-Mendoza A, Ramírez H, Robledo-Torres V & Rodríguez-Mendoza MN. 2012. Aplicación de selenio en tomate: crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. *Terra Latinoam.* 30: 291-301.
- Benavides-Mendoza A, Juárez-Maldonado A, de Alba-Romenus K, Zermeño-González A & Ramírez H. 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 6, 943-954.
- Borghese C., Stoffel M. M. 2017. Efecto de la biofortificación con selenio sobre la senescencia poscosecha y parámetros nutricionales de brócoli. En: XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral. Argentina. pp. 4.
- Carreón Cruz P. 2017. Características y tendencias del tomate rojo en México. *El economista.* <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Caracteristicas-y-tendencias-del-tomate-rojo-en-Mexico-I-20170605-0003.html> 13-abril-2022.
- Castillo Godina RG. 2015. Expresión génica diferencial y antioxidantes en la planta de tomate (*Solanum lycopersicon L.* Mill) enriquecida con Selenio. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León. 153 p.
- Ciruelos Calvo A, De la Torre Carreras R & González Ramos C. 2008. Parámetros de calidad en el tomate para industria. En: La agricultura y la ganadería extremeñas en 2007. Edelibros, s.l.u. España. pp. 157-169.

- De los Santos-Vázquez ME. 2014. Aplicación de Selenio en semillas y plántulas de hortalizas para modificar el potencial redox. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 39 p.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Djanaguiraman M, Prasad PVV & Seppanen M. 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high-temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiol. Bioch.* 48(12): 999-1007.
- Do Nascimento-Da Silva E, Cidade M, Heerdt G, Ribessi RL, Morgon NH & Cadore S. 2018. Effect of selenite and selenate application on mineral composition of lettuce plants cultivated under hydroponic conditions: nutritional balance overview using a multifaceted study. *J. Braz. Chem. Soc.* 29, 371-379.
- FAO. 2017. FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat3.fao.org/>
- García-Márquez V, Morelos-Moreno Á, Benavides-Mendoza A & Medrano Macías J. 2020. Ionic selenium and nanoselenium as biofortifiers and stimulators of plant metabolism. *Agronomy* 10, 1399.
- García-Márquez V. 2020. Influencia de la biofortificación con selenito de sodio en los compuestos bioactivos en tomate. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 73 p.
- Guerrero B, Llugany M, Palacios O & Valiente M. 2014. Dual effects of different selenium species on wheat. *Plant Phys. Biochem.* 83, 300-307.

- Hajiboland R & Amjad L. 2007. Does antioxidant capacity of leaves play a role in growth response to selenium at different sulfur nutritional status? *Plant Soil Environ.* 53: 207-215.
- Hermosillo-Cereceres MA. 2012. Biofortificación con Selenio: Influencia en la capacidad antioxidante y calidad nutricional del frijol. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Desarrollo A.C. 166 p.
- Herrera Flores TS, Ortiz Cereceres J, Delgado Alvarado A & Acosta Galleros JA. 2014. Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbato peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 5, 859-870.
- León Calvario I. 2018. Efecto del injerto y estrés salino sobre el contenido nutracéutico en frutos de tomate. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 41 p.
- López-Gutiérrez ML, Benavides-Mendoza A, Ortega-Ortiz H, Valdez-Aguilar LA, Cabrera-De la Fuente M & Sandoval-Rangel A. 2015. Selenio y su efecto en el estado antioxidante y la composición mineral de la lechuga. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 6e, 2257-2262.
- López-Marín L. 2017. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria San José, Costa Rica. 121 p.
- Norma Mexicana para Tomate. "NMX-FF-031-1997-SCFI. 1998. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- Hortalizas frescas- Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)- Especificaciones". México. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx>.
- Ramos SJ, Faquin V, Guilherme LRG, Castro EM, Ávila FW, Carvalho GS, Bartos CEA & Oliveira C. 2010. Selenium biofortification and antioxidant

- activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil Environ.* 56: 584-588.
- Riaño Salas P. 2019. Biofortificación agronómica con selenio y zinc sobre guisante forrajero (*Pisum sativum* L.) bajo condiciones de secano mediterráneas. Tesis de Maestría. Universidad de Extremadura. Bandajoz España. 86 p.
- Rodríguez, R., Tabares R. y Medina, J. 2001. Cultivo moderno del tomate 2ª. Ed. Mundiprensa. España. p. 255
- Stanghellini C. 1992. Environmental control of greenhouse crop transpiration. *J. Agric. Eng. Res.* 51, 297-311,
- Steiner AA. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15, 134-154.
- Welch R & Graham R. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *J. Experim. Bot.* 55, 353-364.
- Xu J, Zhu S, Yang F, Cheng L, Hu Y, Pan G & Hu Q. 2003. The influence of selenium on the antioxidant activity of green tea. *J. Sci. Food Agric.* 83: 451-455.
- Yu Y, Zhuang Z, Luo LY, Wang YQ & Li HF. 2019. Difference between selenite and selenate in selenium transformation and the regulation of cadmium accumulation in *Brassica chinensis*. *Environ. Scie. Pollution Res. Int.* 26, 24532-24541.

ANEXO. Análisis de varianza

Diámetro polar

N	R ²	R ² Aj	CV
40	0.44	0.32	6.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	160.18	7	22.88	3.64	0.0053
trat	160.18	7	22.88	3.64	0.0053
Error	201.16	32	6.29		
Total	361.33	39			

Diámetro ecuatorial

N	R ²	R ² Aj	CV
40	0.49	0.37	6.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	92.45	7	13.21	4.33	0.0018
trat	92.45	7	13.21	4.33	0.0018
Error	97.69	32	3.05		
Total	190.14	39			

Firmeza

N	R ²	R ² Aj	CV
40	0.50	0.39	25.94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19.31	7	2.76	4.50	0.0014
trat	19.31	7	2.76	4.50	0.0014
Error	19.60	32	0.61		
Total	38.92	39			

Sólidos solubles totales

N	R ²	R ² Aj	CV
40	0.41	0.29	9.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.25	7	0.75	3.23	0.0104
trat	5.25	7	0.75	3.23	0.0104
Error	7.42	32	0.23		
Total	12.67	39			

Racimo 1

N	R ²	R ² Aj	CV
26	0.16	0.00	73.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6421484.58	8	802685.57	0.42	0.8956
trat	6421484.58	8	802685.57	0.42	0.8956
Error	32799614.28	17	1929389.08		
Total	39221098.86	25			

Racimo 2

N	R ²	R ² Aj	CV
36	0.05	0.00	119.94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4759201.72	8	594900.21	0.18	0.9919
trat	4759201.72	8	594900.21	0.18	0.9919
Error	89777321.93	27	3325086.00		
Total	94536523.65	35			

Racimo 3

N	R ²	R ² Aj	CV
36	0.07	0.00	89.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3530357.43	8	441294.68	0.27	0.9699
trat	3530357.43	8	441294.68	0.27	0.9699
Error	43885531.52	27	1625390.06		
Total	47415888.95	35			

Racimo 4

N	R ²	R ² Aj	CV
39	0.11	0.00	87.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2554986.21	8	319373.28	0.47	0.8694
trat	2554986.21	8	319373.28	0.47	0.8694
Error	20515136.86	30	683837.90		
Total	23070123.07	38			

Racimo 5

N	R ²	R ²	Aj	CV
43	0.15	0.00		102.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3761607.28	8	470200.91	0.75	0.6485
trat	3761607.28	8	470200.91	0.75	0.6485
Error	21342083.68	34	627708.34		
Total	25103690.96	42			

Racimo 6

N	R ²	R ²	Aj	CV
38	0.20	0.00		66.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2109665.89	8	263708.24	0.91	0.5190
trat	2109665.89	8	263708.24	0.91	0.5190
Error	8368323.32	29	288562.87		
Total	10477989.21	37			

Racimo 7

N	R ²	R ² Aj	CV
32	0.36	0.14	62.67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5369852.66	8	671231.58	1.62	0.1745
trat	5369852.66	8	671231.58	1.62	0.1745
Error	9547401.46	23	415104.41		
Total	14917254.12	31			

Racimo 8

N	R ²	R ² Aj	CV
32	0.19	0.00	84.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1364434.05	8	170554.26	0.68	0.7072
trat	1364434.05	8	170554.26	0.68	0.7072
Error	5799271.55	23	252142.24		
Total	7163705.60	31			

Racimo 9

N	R ²	R ² Aj	CV
19	0.37	0.00	108.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2721791.70	8	340223.96	0.74	0.6593
trat	2721791.70	8	340223.96	0.74	0.6593
Error	4605244.78	10	460524.48		
Total	7327036.48	18			

Racimo 10

N	R ²	R ² Aj	CV
9	1.00	sd	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5512243.77	8	689030.47	sd	sd
trat	5512243.77	8	689030.47	sd	sd
Error	0.00	0	0.00		
Total	5512243.77	8			