



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL



Artículo Científico

Código: AI-2504

**Evaluación del efecto de aplicaciones foliares enriquecidas con calcio y boro sobre la incidencia en pudrición apical y vida de anaquel de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*).**

**Autores**

Nombre	Institución	Correo electrónico	Teléfono	Firma
Francisco Arturo Sánchez Molina	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas.	sm14052@ues.edu.sv	76599046	
Efraín Antonio Rodríguez Urrutia.	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas.	efrain.rodriguez@ues.edu.sv	73180554	
Oscar Alonso Rodríguez Gracias	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas.	oscar.gracias@ues.edu.sv	77731325	
Wilmer Barrera	Vilmorin-Mikado	wilmer.barrera@vilmorinmikado.com	72154077	

**Visto bueno**

Coordinadora general de procesos de graduación del departamento: Firma  
Licda. M. Sc. Cruz Gilma Ortiz de Alarcón.

Jefe de departamento:  
Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia.

Firma

Director general de procesos de graduación:  
Ing. Ever Alexis Martínez Aguilar.

Firma

Ciudad Universitaria, 21 de diciembre de 2026

## **Título de la investigación:**

Evaluación del efecto de aplicaciones foliares enriquecidas con calcio y boro sobre la incidencia en pudrición apical y vida de anaquel de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*).

## **Autores:**

Francisco Arturo Sánchez-Molina<sup>a</sup>, Efraín Antonio, Rodríguez-Urrutia<sup>b</sup>, Oscar Alonso Rodríguez-Gracias<sup>c</sup>, Wilmer Barrera<sup>d</sup>.

<sup>a</sup>Tesista, Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.

<sup>b</sup>Investigador, Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.

<sup>c</sup>Investigador, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.

<sup>d</sup>Investigador, Vilmorin-Mikado, El Salvador.

*Correspondencia:* efrain.rodriguez@ues.edu.sv

## **Resumen**

La investigación se llevó a cabo entre enero y junio de 2023 en la Estación Experimental Vilmorin-Mikado en El Salvador. El objetivo fue evaluar cómo las aplicaciones foliares de calcio y boro afectan la pudrición apical y la vida de anaquel de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*). Se realizaron dos experimentos, en el primero se probaron tres variedades de tomate (línea G57, línea G36 y un genotipo como testigo) con cuatro dosis de un fertilizante foliar de calcio (6% de calcio). Se hicieron dos aplicaciones semanales desde la prefloración hasta el final del ciclo productivo, usando dosis de 0 (testigo), 0.5, 1 y 1.5 litros por hectárea. En el segundo experimento se utilizaron las mismas variedades de tomate junto con cuatro dosis de un fertilizante foliar que combinaba calcio y boro, aplicando dosis de 0 (testigo), 100, 200 y 300 gramos por hectárea. El diseño de la investigación fue un factorial de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones, utilizando 72 subparcelas de dos metros cada una. Se analizaron los datos mediante estadística descriptiva y ANOVA con un nivel de significancia del 5%. Los resultados mostraron que la solución con calcio y boro a 200 g.ha<sup>-1</sup> fue el mejor tratamiento para prevenir la pudrición apical en los tomates evaluados.

**Palabras claves:** Fertilizante foliar, genotipo, deficiencia, El Salvador.

## **Abstract**

The research was conducted between January and June 2023 at the Vilmorin-Mikado Experimental Station in El Salvador. The objective was to evaluate how foliar applications of calcium and boron affect blossom-end rot and shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. Two experiments were carried out. In the first, three tomato varieties (G57 line, G36 line, and a control) were tested with four doses of a foliar calcium fertilizer (6% calcium). Applications were made twice weekly from pre-flowering until the end of the production cycle, using doses of 0 (control), 0.5, 1, and 1.5 liters per hectare. In the second experiment, the same tomato varieties were used with four doses of a foliar fertilizer combining calcium and boron, applying doses of 0 (control), 100, 200, and 300 grams per hectare. The research design was a

Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments and three replicates, using 72 subplots of two meters each. Data were analyzed using descriptive statistics and ANOVA with a significance level of 5%. The results showed that the solution containing calcium and boron at 200 g ha<sup>-1</sup> was the best treatment for preventing blossom-end rot in the tomatoes evaluated.

**Keywords:** Foliar fertilizer, genotype, deficiency, El Salvador.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel nacional, se adapta a condiciones de clima cálido y templado, cultivándose en lugares con alturas entre los 100 a los 1,500 metros sobre el nivel del mar. Se puede sembrar todo el año en lugares donde se cuenta con riego (CENTA 2018).

El anuario de estadísticas agropecuarias 2014-2015 del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador, reportó la siembra de tomate en un área de 1,060 manzanas (742 hectáreas) a nivel nacional, con un volumen de producción de 19,396,600 kg, lo que significa que con esta producción no se cubre la demanda aparente del país (\$109,554,703 dólares); teniendo que importar alrededor de 90,158,103 kilogramos con valor de \$12,165,670.00 dólares (MAG y DGEA 2015).

Para cubrir la demanda aparente se requiere sembrar alrededor de 3,990 hectáreas de terreno. Para esto se demandan algunas líneas de acción como: implementación de nuevas tecnologías con el uso de infraestructura protegida (micro túnel, macro túnel, casa Malla, invernadero), riego, fertirriego, hidroponía, agricultura orgánica, variedades tolerantes a plagas y enfermedades, y aplicaciones de fertilizantes foliares a base de calcio y boro como complemento de la parte nutricional del cultivo (MAG y DGEA 2015).

El calcio es un nutriente que interviene en una gran cantidad de procesos en la planta. Es esencial para el desarrollo de raíces (pelos radicales en densidad y longitud), forma parte de las estructuras celulares como estabilizador de la pared celular y de la membrana plasmática, y es vital en los procesos de división y elongación celular (INTAGRI 2015).

El calcio es un catión divalente que es importante para mantener la fuerza e integridad de los tallos de las plantas. Este mineral regula la absorción de nutrientes a través de las membranas plasmáticas de la célula, funciona en la elongación y divisiones de células, estructura y permeabilidad de membranas de la célula, metabolismo del nitrógeno y translocación de carbohidratos. La concentración de calcio en la planta es la misma que la de nitrógeno y potasio (Albion Plant Nutrition 2014).

La carencia de calcio en tomate es bastante común y las plantas afectadas reducen su vigor, los bordes de las hojas jóvenes se necrosan y se curvan en forma de cuchara. El síntoma más característico es la pudrición apical de frutos o Blossom End Rot (BER), que se asocia a un déficit hídrico o a una excesiva evapotranspiración, a consecuencia de humedades bajas y temperaturas altas, hecho que produce una mayor velocidad de crecimiento, demandando la planta más nutriente. El calcio al ser un elemento escasamente móvil, no es capaz de satisfacer la rápida demanda en todo el vegetal, por lo que los extremos de los frutos en crecimiento se pudren. Condiciones de elevada salinidad agravan el problema al quedar bloqueada la asimilación de calcio y otros elementos.

Los síntomas por la deficiencia de boro en las hojas comienzan por una ligera clorosis generalizada con tonos púrpura y posterior necrosis apical. Los meristemos de crecimiento se marchitan y mueren. En floración provoca caída de flores y falta de cuaje. En fruto pueden aparecer surcos acorchados y maduración irregular como con el calcio, ya que ambos forman parte de la pared de las células (AgroLógica 2012).

El boro está involucrado en tres procesos principales: preservación de la estructura de la pared celular, mantenimiento de las funciones de la membrana y cofactor de las actividades metabólicas. El aislamiento y caracterización del complejo polisacárido-B a partir de las paredes celulares proporcionó evidencia directa para los eslabones cruzados de boro en los polímeros de la pectina y confirmó *in vivo* su rol en la arquitectura de la pared celular. La esencialidad del boro en las plantas está relacionada con su capacidad para formar puentes diésteres con grupos cis-diol para producir moléculas estables como el complejo B-ramnogalacturonano II fundamental en la estructura de la pared celular (Acuña y Molina 2007). Uno de los principales problemas en la producción de tomate en campo abierto o en invernadero es la pudrición apical de la fruta asociada con la deficiencia de calcio. Esta

condición se presenta cuando existe baja humedad relativa en combinación con alta temperatura del aire y del suelo, incrementando la evapotranspiración y promoviendo un vigoroso crecimiento de la planta y el fruto, y una mayor demanda de nutrientes. Lo anterior provoca la acumulación de calcio en las hojas, pero puede al mismo tiempo ocasionar deficiencia de este nutriente en los frutos, debido a que la movilidad del calcio dentro de la planta es baja y el crecimiento del fruto es muy intenso. De esta forma la cantidad de calcio que llega al fruto no es suficiente para cubrir la demanda nutricional de las actuales variedades de alto rendimiento. Si además se considera que durante épocas de alta temperatura el funcionamiento de la raíz es afectado por la tensión osmótica ocasionada por la mayor concentración de sales en el suelo, se puede esperar una menor cantidad de calcio en el sistema en general. Condiciones de salinidad del agua o del suelo agravan la situación ya que las sales dificultan la absorción de agua y calcio, incrementando la pudrición apical del fruto. Existe evidencia científica que demuestra que la salinidad afecta los vasos conductores de agua y nutrientes en el fruto, bloqueando la asimilación de calcio y otros nutrientes (Lazcano 2000).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de dos fertilizantes foliares quelatados enriquecidos con calcio y boro en la firmeza del fruto de tomate, medidos en libras fuerza por  $\text{cm}^2$  (lb.f./ $\text{cm}^2$ ), la incidencia de pudrición apical, el número total de frutos (rendimiento) y la vida de anaquel de los frutos de tomate.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Ubicación de la investigación**

La investigación se realizó de enero a junio de 2023 en la Estación Experimental de Vilmorin-Mikado El Salvador, ubicada en el caserío Belén, municipio de San Juan Opico, departamento de La Libertad, El Salvador, con Latitud  $13^{\circ}46'20.79''$  N,  $89^{\circ}23'2.74''$  O, a una elevación de 460 metros sobre el nivel del mar.

### **2.2. Metodología de campo**

Como primera actividad se sembraron los matearles o líneas genéticas, se realizó toda la labor de producción de plantines hasta obtener plantines de calidad con un correcto desarrollo y un buen y sano sistema radicular, todo este proceso tardó al rededor de 30 días. Durante este periodo se delimitó el terreno y se realizaron trabajos de preparación de suelo como picado y elaboración de camas de siembra, instalación de sistemas de riego y varas de bambú tutoras para el cultivo de tomate y la delimitación de cada tratamiento y repetición. Posterior a estas actividades se realizó la siembra del cultivo hasta llegar a la etapa de prefloración en la cual se comenzó la aplicación de los tratamientos en estudio.

En las primeras etapas del cultivo la aplicación de los fertilizantes foliares a base de calcio y boro se realizó con aspersores manuales, ya que las plantas estaban muy pequeñas y las cantidades de producto eran muy poco. Luego se realizó con una bomba de mochila de 20 litros, colocando una pantalla de plástico para evitar la contaminación entre tratamientos por efecto de la deriva. Una vez hubo fruto se comenzó con la aplicación al fruto y ya no solo al follaje. Estas aplicaciones se realizaron hasta el final de la vida del cultivo, comenzando con la toma de datos desde que se obtuvieron los primeros frutos de tomate 85 días después del transplante.

### **2.3. Metodología estadística**

La investigación se realizó bajo un Diseño factorial de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento, las unidades experimentales

fueron 72 subparcelas con una superficie de 2 m lineales cada una y un área total de 600 m<sup>2</sup>. Se trabajó con 4 plantas de tomate por repetición en cada uno de los tratamientos.

En la investigación se realizaron dos experimentos, en el primero se evaluaron diferentes genotipos del cultivo de tomate y dosis de calcio; en el segundo se evaluaron diferentes genotipos de tomate y dosis de calcio- boro.

En cada experimento se hicieron dos réplicas, es decir, la evaluación se hizo dos veces.

Los tratamientos en estudio fueron 4 con diferentes dosis de los productos foliares enriquecidos con calcio, y otro con calcio y boro, aplicados a 3 líneas genéticas de tomate: línea G57 (genotipo -G2-), línea G36 (genotipo -G3-) y línea G segregante (genotipo -GC-), descritos en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de estudio.

Tratamiento	Genotipo	Experimento 1	Experimento 2
Testigo Tratamiento 1 (T <sub>1</sub> )	Línea G57 (G2), línea G36 (G3) y línea G segregante (GC).	Sin aplicación de calcio (D0).	Sin aplicación de calcio y boro (D0).
Tratamiento 2 (T <sub>2</sub> )	Línea G57 (G2), línea G36 (G3) y línea G segregante (GC).	Foliar enriquecido con calcio en dosis de 0.5 lt.ha <sup>-1</sup> (D1).	Foliar enriquecido con calcio y boro en dosis de 100 g.ha <sup>-1</sup> (D1).
Tratamiento 3 (T <sub>3</sub> )	Línea G57, línea G36 y línea G segregante	Foliar enriquecido con calcio en dosis de 1 lt.ha <sup>-1</sup> (D2).	Foliar enriquecido con calcio y boro en dosis de 200 g.ha <sup>-1</sup> (D2).
Tratamiento 4 (T <sub>4</sub> )	Línea G57, línea G36 y línea G segregante	Foliar enriquecido con calcio en dosis de 1.5 lt.ha <sup>-1</sup> (D3).	Foliar enriquecido con calcio y boro en dosis de 300 g.ha <sup>-1</sup> (D3).

### 2.3.1. Recolección de datos

La recolección de datos comenzó con monitoreos durante el crecimiento de los frutos de tomate para identificar la presencia de la fisiopatía de pudrición apical, ya que esta se presenta con mayor frecuencia en la zona de más alta división celular durante el crecimiento y desarrollo del fruto de tomate.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Experimento 1

#### 3.1.1 Firmeza de frutos

En la primera réplica del experimento 1 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto. El tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3 (línea G36), dosis 3 (solución enriquecida con calcio 1.5 lt.ha<sup>-1</sup>)), reportó la mayor firmeza con un promedio de 7.14 (lb.f./cm<sup>2</sup>) (cuadro 2).

En la segunda réplica del experimento 1 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto. El tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3 (línea G36), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio), reportó la mayor firmeza con un promedio de 7.24 (lb.f./cm<sup>2</sup>) (cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza del efecto de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio en firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							

T1 (G1D0)	Firmeza del fruto	4.86	0.63	0.36	12.89	0.81	<0.0001
T10 (G3D1)		6.04	0.32	0.19	5.36		
T11 (G3D2)		6.99	0.34	0.19	4.8		
T12 (G3D3)		7.14	0.67	0.38	9.32		
T2 (G1D1)		6.18	0.25	0.15	4.08		
T3 (G1D2)		6.16	1.08	0.62	17.55		
T4 (G1D3)		6.95	0.68	0.39	9.73		
T5 (G2D0)		5.35	0.67	0.39	12.54		
T6 (G2D1)		6.15	0.29	0.17	4.77		
T7 (G2D2)		6.65	0.52	0.3	7.84		
T8 (G2D3)		6.85	0.26	0.15	3.79		
T9 (G3D0)		5.57	0.34	0.19	6.04		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
T1 (G1D0)		3.84	0.68	0.39	17.61		
T10 (G3D1)		5.90	0.19	0.11	3.21		
T11 (G3D2)		6.44	0.24	0.14	3.71		
T12 (G3D3)		7.24	0.41	0.24	5.67		
T2 (G1D1)	Firmeza del fruto	5.72	0.74	0.43	12.98	0.93	<0.0001
T3 (G1D2)		6.14	0.34	0.19	5.46		
T4 (G1D3)		6.47	0.1	0.06	1.48		
T5 (G2D0)		3.67	0.61	0.35	16.64		
T6 (G2D1)		5.80	0.45	0.26	7.82		
T7 (G2D2)		6.69	0.18	0.1	2.63		
T8 (G2D3)		6.32	0.17	0.1	2.67		
T9 (G3D0)		4.65	0.4	0.23	8.63		

Según YARA (2024a), un alto nivel de calcio en la célula mejora la firmeza del fruto y como resultado se mejoran las características de transporte y almacenaje. El uso de calcio minimizará la descomposición de pectinas al mantener unida la matriz péctica, manteniendo así la resistencia de la pared celular. El calcio activa enzimas y es un elemento esencial para la división celular, el tamaño y el crecimiento de la fruta. Estabiliza y asegura la permeabilidad de las paredes celulares, protegiéndolas de una degradación enzimática. Como resultado, frutos con niveles más altos de calcio son más firmes y, con piel y pulpa menos propensos a desórdenes que provocan descomposición, reduciendo las fugas a través de las membranas de las paredes celulares. Por eso, un buen suministro de calcio retrasa la maduración y mejora las cualidades para el almacenaje de la fruta.

### 3.1.2 Pudrición apical del fruto (blossom)

En la primera réplica del experimento 1 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio no presentaron diferencias significativas en la variable número de frutos con pudrición apical. El tratamiento 5 G2D0 (Genotipo 2 (línea G57), dosis 0 (0 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 (línea G57), dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 (línea G57), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)) y tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2 (línea G57), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 3).

En la segunda réplica del experimento 1 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos con

podrición apical. El tratamiento 10 G3D1 (genotipo 3 (línea G36), dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 11 G3D2 (genotipo 3 (línea G36), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3 (línea G36), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 3 G1D2 (genotipo 1 (línea segregante o GC), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2 (línea G57), dosis 0 (0 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 (línea G57), dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 (línea G57), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2 (línea G57), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio con la pudrición apical.

Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
Experimento 1. Réplica 1.							
T1 (G1D0)	Frutos con Blossom	1.50	0.19	0.11	12.71	0.73	0.0005
T10 (G3D1)		0.46	0.45	0.26	98.2		
T11 (G3D2)		0.26	0.45	0.26	173.21		
T12 (G3D3)		0.56	0.49	0.28	87.32		
T2 (G1D1)		0.20	0.35	0.2	173.21		
T3 (G1D2)		0.69	0.09	0.05	12.73		
T4 (G1D3)		0.58	0.17	0.1	30.1		
T5 (G2D0)		0	0	0	Sd		
T6 (G2D1)		0	0	0	Sd		
T7 (G2D2)		0	0	0	Sd		
T8 (G2D3)		0	0	0	Sd		
T9 (G3D0)		0.82	0.71	0.41	86.6		
Experimento 1. Réplica 2.							
T1 (G1D0)	Frutos con Blossom	1.17	0.12	0.07	10.21	0.92	<0.0001
T10 (G3D1)		0	0	0	Sd		
T11 (G3D2)		0	0	0	Sd		
T12 (G3D3)		0	0	0	Sd		
T2 (G1D1)		0.16	0.28	0.16	173.21		
T3 (G1D2)		0	0	0	Sd		
T4 (G1D3)		0.16	0.28	0.16	173.21		
T5 (G2D0)		0	0	0	Sd		
T6 (G2D1)		0	0	0	Sd		
T7 (G2D2)		0	0	0	Sd		
T8 (G2D3)		0	0	0	Sd		
T9 (G3D0)		0	0	0	Sd		

Según YARA (2024b), la carencia de calcio está intrínsecamente ligada a la podredumbre apical. El problema ocurre durante la época de máxima expansión del fruto, un par de semanas después de la polinización. En esa época cualquier factor que pueda limitar el suministro de calcio al fruto podrá incrementar el riesgo de podredumbre apical.

### 3.1.3 Número total de frutos

En la primera réplica del experimento 1 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio, no presentaron diferencias significativas en la variable número de

frutos con pudrición apical. El tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2 (línea G57), dosis 0 (0 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 (línea G57), dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 (línea G57), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)) y tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2 (línea G57), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 4).

En la segunda réplica del experimento 1, los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos con pudrición apical. El tratamiento 10 G3D1 (genotipo 3 (línea G36), dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 11 G3D2 (genotipo 3 (línea G36), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3 (línea G36), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 3 G1D2 (genotipo 1 (línea segregante o GC), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2 (línea G57), dosis 0 (0 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 (línea G57), dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 (línea G57), dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2 (línea G57), dosis 3 (1.5 lt.ha<sup>-1</sup> de calcio)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio en el número total de frutos.

Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
Experimento 1. Réplica 1.							
T1 (G1D0)	Número total de frutos	229.33	15.63	9.02	6.82	0.39	0.5664
T10 (G3D1)		198.33	13.32	7.69	6.71		
T11 (G3D2)		211.00	42.57	24.58	20.17		
T12 (G3D3)		185.67	86.23	49.79	46.45		
T2 (G1D1)		255.00	47.13	27.21	18.48		
T3 (G1D2)		238.67	21.01	12.13	8.8		
T4 (G1D3)		204.00	35.55	20.53	17.43		
T5 (G2D0)		214.00	30.2	17.44	14.11		
T6 (G2D1)		238.67	29.57	17.07	12.39		
T7 (G2D2)		213.33	22.74	13.13	10.66		
T8 (G2D3)		234.00	19.05	11	8.14		
T9 (G3D0)		219.33	32.33	18.67	14.74		
Experimento 1. Réplica 2.							
Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
T1 (G1D0)	Número total de frutos	221.33	23.59	13.62	10.66	0.2	0.9706
T10 (G3D1)		205.00	127.45	73.58	62.17		
T11 (G3D2)		173.67	75.37	43.51	43.4		
T12 (G3D3)		201.00	67.73	39.11	33.7		
T2 (G1D1)		234.00	32.42	18.72	13.85		
T3 (G1D2)		234.00	20.3	11.72	8.67		
T4 (G1D3)		215.67	30.44	17.57	14.11		
T5 (G2D0)		202.00	11.53	6.66	5.71		
T6 (G2D1)		224.00	21.28	12.29	9.5		
T7 (G2D2)		221.33	30.09	17.37	13.59		
T8 (G2D3)		223.67	13.05	7.54	5.84		
T9 (G3D0)		193.67	60.29	34.81	31.13		

Según YARA (2024b), el calcio fomenta la germinación del polen, ajusta algunos sistemas de enzimas e influye en el crecimiento y salud de células y tejidos conductivos. Tiene una influencia clave en el cuaje del fruto del tomate y sobre todo en la podredumbre apical.

## 3.2 Experimento 2

### 3.2.1 Firmeza de fruto

En la primera réplica del experimento 2 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio-boro presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto. El tratamiento 11 G3D2 (genotipo 3 (línea G36), dosis 2 (solución enriquecida con calcio y boro 200 g.ha<sup>-1</sup>)), reporto la mayor firmeza con un promedio de 7.72 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) (cuadro 5).

En la segunda réplica del experimento 2 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio-boro presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto. El tratamiento 12 (G3D3) (genotipo 3 (línea G36), dosis 3 (300 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), reporto la mayor firmeza con un promedio de 7.72 (lb.f./cm<sup>2</sup>) (cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza de la combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio-boro en la firmeza del fruto (lb.f./ cm<sup>2</sup>).

Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
Experimento 2. Réplica 1.							
T1 (G1D0)	Firmeza del fruto	4.72	0.57	0.33	12.06	0.91	<0.0001
T10 (G3D1)		7.00	0.57	0.33	8.16		
T11 (G3D2)		7.72	0.13	0.08	1.68		
T12 (G3D3)		7.68	0.5	0.29	6.48		
T2 (G1D1)		6.44	0.4	0.23	6.24		
T3 (G1D2)		7.08	0.29	0.17	4.12		
T4 (G1D3)		7.48	0.29	0.16	3.82		
T5 (G2D0)		4.50	0.96	0.55	21.26		
T6 (G2D1)		6.53	0.11	0.06	1.61		
T7 (G2D2)		6.87	0.63	0.36	9.16		
T8 (G2D3)		6.78	0.04	0.02	0.6		
T9 (G3D0)		5.22	0.83	0.48	15.81		
Experimento 2. Réplica 2.							
Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
T1 (G1D0)	Firmeza del fruto	3.33	0.3	0.18	9.13	0.94	<0.0001
T10 (G3D1)		6.01	0.15	0.09	2.54		
T11 (G3D2)		7.07	0.64	0.37	9.03		
T12 (G3D3)		7.72	0.37	0.21	4.79		
T2 (G1D1)		5.84	0.49	0.28	8.39		
T3 (G1D2)		6.42	0.04	0.02	0.55		
T4 (G1D3)		7.07	0.68	0.39	9.56		
T5 (G2D0)		3.31	0.05	0.03	1.55		
T6 (G2D1)		6.00	0.57	0.33	9.5		
T7 (G2D2)		6.49	0.86	0.5	13.32		
T8 (G2D3)		7.11	0.34	0.19	4.74		
T9 (G3D0)		4.95	0.32	0.18	6.41		

Lo anterior demuestra que la adición de boro en la fertilización foliar aumenta los valores en la firmeza de los frutos de tomate en comparación con la aplicación sola de calcio.

Acuña y Molina (2007) mencionan que la pared celular es fundamental en la determinación del crecimiento y desarrollo de la célula vegetal, que involucra una dinámica y continua modificación durante la diferenciación celular, donde el boro cobra importancia formando puentes borato para la formación del dímero B-RGII, componente fundamental en la arquitectura de la pared celular. El papel del boro esta también correlacionado con el desarrollo y lignificado de las paredes celulares.

### 3.2.2. Pudrición apical del fruto

En la primera réplica del experimento 2 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro presentaron diferencias significativas en la variable número de frutos con pudrición apical. El tratamiento 3 G1D2 (línea segregante 1, dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2 (línea G57), dosis 0 (0 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 (línea G57), dosis 1 (100 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 (línea G57), dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), y el tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2 (línea G57), dosis 3 (300 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 6).

En la segunda réplica del experimento 2 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos con pudrición apical. El tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2 (línea G57), dosis 0 (0 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 (línea G57) y dosis 1 (100 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 (línea G57) y dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), tratamiento 8 G2D2 (genotipo 2 (línea G57) y dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), tratamiento 10 G3D1 (genotipo 3 (línea G36), y dosis 1 (100 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), y el tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3 (línea G36), y dosis 3 (300 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro en pudrición apical.

Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
Experimento 2. Réplica 1.							
T1 (G1D0)	Frutos con Blossom	1.42	0.19	0.11	13.18	0.83	<0.0001
T10 (G3D1)		0.10	0.17	0.1	173.21		
T11 (G3D2)		0.20	0.35	0.2	173.21		
T12 (G3D3)		0.39	0.36	0.21	91.11		
T2 (G1D1)		0.54	0.47	0.27	86.82		
T3 (G1D2)		0	0	0	Sd		
T4 (G1D3)		0.58	0.53	0.31	91.49		
T5 (G2D0)		0	0	0	Sd		
T6 (G2D1)		0	0	0	Sd		
T7 (G2D2)		0	0	0	Sd		
T8 (G2D3)		0	0	0	Sd		
T9 (G3D0)		0.90	0.18	0.1	19.81		
Experimento 2. Réplica 2.							
Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
T1 (G1D0)	Frutos con Blossom	1.31	0.29	0.17	21.9	0.72	0.0006

T10 (G3D1)	0	0	0	Sd
T11 (G3D2)	0.26	0.24	0.14	93.02
T12 (G3D3)	0	0	0	Sd
T2 (G1D1)	0.26	0.45	0.26	173.21
T3 (G1D2)	0.30	0.52	0.3	173.21
T4 (G1D3)	0.46	0.41	0.24	88.69
T5 (G2D0)	0	0	0	Sd
T6 (G2D1)	0	0	0	Sd
T7 (G2D2)	0	0	0	Sd
T8 (G2D3)	0	0	0	Sd
T9 (G3D0)	0.48	0.48	0.28	100

Saldanha (2023) menciona que el boro es un nutriente que ayuda a las plantas a utilizar otros nutrientes como el calcio, que es esencial para evitar la pudrición apical en los frutos, y el boro es importante para el fortalecimiento de las paredes celulares y ayuda en la formación de la pectina, un componente de la pared celular que contribuye a la estabilidad de la misma. La deficiencia de boro puede provocar trastornos relacionados con el calcio como pudrición apical.

### 3.2.3. Número total de frutos

En la primera réplica del experimento 2 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro no presentaron diferencias significativas en el número total de frutos. El tratamiento 4 (G1D3) (línea segregante o GC y dosis 300 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), obtuvo el mayor número de frutos con un promedio de 252.33 frutos (cuadro 7).

En la segunda réplica del experimento 2 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro no presentaron diferencias significativas en el número total de frutos. El tratamiento 4 G1D3 (línea segregante o GC y dosis 300 g.ha<sup>-1</sup> de calcio y boro), obtuvo el mayor número de frutos con un promedio de 272.33 frutos (cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro en el número total de frutos.

Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
Experimento 2. Réplica 1.							
T1 (G1D0)	Número total de frutos	232.67	47.75	27.57	20.52	0.45	19.92
T10 (G3D1)		204.00	74.75	43.15	36.64		
T11 (G3D2)		139.00	71.76	41.43	51.62		
T12 (G3D3)		235.67	54.45	31.43	23.1		
T2 (G1D1)		202.00	33.15	19.14	16.41		
T3 (G1D2)		227.67	8.74	5.04	3.84		
T4 (G1D3)		252.33	17.47	10.09	6.92		
T5 (G2D0)		238.67	21.57	12.45	9.04		
T6 (G2D1)		202.00	40.11	23.16	19.86		
T7 (G2D2)		222.00	33.05	19.08	14.89		
T8 (G2D3)		194.33	3.06	1.76	1.57		
T9 (G3D0)	191.33	15.5	8.95	8.1			
Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor

## Experimento 2. Réplica 2.

T1 (G1D0)		254.33	26.54	15.32	10.43		
T10 (G3D1)		182.67	28.29	16.33	15.49		
T11 (G3D2)		174.33	24.38	14.08	13.98		
T12 (G3D3)		178.33	91.88	53.05	51.52		
T2 (G1D1)		207.67	9.81	5.67	4.73		
T3 (G1D2)		232.00	56.63	32.7	24.41		
T4 (G1D3)		272.33	47.29	27.3	17.36		
T5 (G2D0)		224.33	44.02	25.41	19.62		
T6 (G2D1)	Número total de frutos	224.33	43.94	25.37	19.58	0.44	23.39
T7 (G2D2)		243.67	20.21	11.67	8.29		
T8 (G2D3)		227.00	68.2	39.37	30.04		
T9 (G3D0)		169.33	78.81	45.5	46.54		

YARA (2024c) menciona que con una deficiencia leve de boro los pecíolos se vuelven quebradizos y se desprenden de forma repentina, lo que hace que se reduzca la cosecha y los frutos no pueden comercializarse debido a su superficie agrietada. Las raíces son cortas y tienen extremos necróticos gruesos. Con deficiencia severa de boro los puntos vegetativos del brote principal y los laterales mueren y se pierde el cultivo. Las hojas más jóvenes se quedan pequeñas, se curvan hacia dentro y se deforman, muestran manchas cloróticas entre las venas de color entre amarillo y naranja, y las venas pueden adquirir un tono amarillo o violeta. Las hojas más viejas se vuelven verdes amarillentas.

Saldanha (2023) menciona que el boro es fundamental para el desarrollo de las flores, la polinización y el cuajado de los frutos. Una deficiencia puede provocar un escaso cuajado de frutos, así como frutos deformes o malformados.

#### 4. CONCLUSIONES

La mayor efectividad en la prevención y corrección de la pudrición apical en los genotipos de tomate evaluados se obtuvo con la solución enriquecida con calcio en dosis de 0.5 lt.ha<sup>-1</sup>, con la cual no hubo ningún fruto con este daño.

La mayor efectividad en la prevención y corrección de la pudrición apical en los genotipos de tomate evaluados se obtuvo con la solución enriquecida con calcio y boro en dosis de 200 g.ha<sup>-1</sup>, con la cual no hubo ningún fruto con este daño.

La mayor firmeza promedio de los frutos de tomate fue de 7.72 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) y se obtuvo cuando se aplicó el fertilizante foliar enriquecido con calcio y boro en el genotipo 3 con dosis de 300 g.ha<sup>-1</sup>, en comparación con la aplicación foliar de la solución enriquecida solo de calcio registrando un promedio de 7.24 lb.f./cm<sup>2</sup> con el genotipo 3 en dosis de 1.5 lt.ha<sup>-1</sup>.

El mayor número de frutos de tomate se obtuvo cuando se aplicó el fertilizante foliar enriquecido con calcio y boro con un promedio de 272.33 unidades en línea de tomate segregante o GC en dosis de 300 g.ha<sup>-1</sup>, y en la aplicación foliar de la solución enriquecida solo con calcio con un promedio de 255 unidades en la línea de tomate segregante o GC en dosis de 0.5 lt.ha<sup>-1</sup>.

La línea genética de tomate 57 o G57 fue la más resistente a la fisiopatía de pudrición apical. La traslocación del calcio en la planta de tomate se ve afectada por la falta del mineral en el suelo y por un mal manejo del riego, ya sea por exceso de agua o por muy poco riego.

## 5. RECOMENDACIONES

Realizar antes de la siembra del cultivo de tomate muestreo y análisis del suelo para conocer las demandas nutricionales de la planta y en base a eso elaborar el plan de fertilización para todo el ciclo de producción.

Se recomienda realizar muestreo foliar de minerales como el calcio y boro para conocer la disponibilidad de dichos nutrientes en la planta.

Para mejorar la vida de anaquel (firmeza del fruto), el número de cuaje de frutos y prevenir fisiopatías como la pudrición apical del fruto del tomate, incluir en el plan de fertilización foliar la aplicación de soluciones enriquecidas con calcio y boro en dosis de 200 g.ha<sup>-1</sup> a partir de los 25 días después del trasplante (etapa de prefloración) de las plantas de tomate, una vez por semana, como complemento a la fertilización edáfica.

Continuar evaluando el genotipo 2 (G2) o línea G57 de tomate porque fue con el que se obtuvo la mayor cantidad de frutos y la menor presencia de pudrición apical.

Proporcionar riegos en el cultivo de tomate para mantener la humedad del suelo a capacidad de campo, que es cuando a la planta no se le dificulta la absorción de nutrientes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A., Molina, C. (2007). *Desempeño funcional del boro en las plantas*. Revista Científica UDO Agrícola. <http://saber.udo.edu.ve/index.php/udoagricola/article/view/3364#:~:text=A%20pesar%20de%20que%20hace%20nueve%20d%C3%A9cadasy,en%20el%20floema%20var%C3%ADa%20marcadamente%20entre%20las>.
- AgroLógica. (24 de mayo de 2012). *Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: síntomas y corrección*. AgroLógica Servicios Agrícolas, S.L. <https://agrologica.es/blog/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/>.
- Albion Plant Nutrition. (1 de Diciembre de 2014). *Noticias de Nutrición Vegetal*. BioagroLat. <https://www.bioagrolat.com/archivos/wpcontent/uploads/downloads/2014/07/Deficiencia-s-de-Calcio-y-Metalosate-Calcio.pdf>
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Alvares Córdova” [CENTA]. (2018). *Cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum)*. CENTA. <https://www.scribd.com/document/467074552/Guia-Centa-Tomate-2019-pdf>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI]. (2015). *Manejo de Pudrición apical End Rot en Tomate*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/Manejo-Blossom-End-Rot-Tomate>.
- Lazcano, I. (2000). *Deficiencia de Ca en tomate (Lycopersicon esculentum L)*. Academia.edu. [https://www.academia.edu/9340327/Deficiencia\\_Ca\\_en\\_Tomate](https://www.academia.edu/9340327/Deficiencia_Ca_en_Tomate).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] y Dirección General de Economía Agropecuaria [DGEA]. (2015). *Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2014-2015*. MAG. <https://es.scribd.com/document/353000009/anuario-de-estadisticas-agropecuarias-2014-2015-pdf>
- Saldanha, E. (2023). *Como potenciar el crecimiento orgánico del durían con boratos*. 20MULETETEAMBORAX™. <https://agricultura-espanol.borax.com/blog/december-2023/boosting-durian-growth-with-borates#:~:text=El%20boro%20tiene%20propiedades%20fundamentales,respaldo%20a%20su%20producci%C3%B3n%20org%C3%A1nica>.
- YARA. (2024a). *Nutrición Vegetal: Influir en la firmeza y su vida de almacén*. YARAKnowledge grow. <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/firmeza-almacen/>
- YARA. (2024b). *Nutrición vegetal en tomate*. YARAKnowledge grow. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/tomate/prevenir-la-podredumbre-apical/>

YARA. (2024c). *Deficiencia de boro- tomate (campo abierto)*. YARAKnowledge grow.  
<https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/deficiencias/boro-tomate/>