

**Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas**



**Tesis sobre:**

**“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*)”**

**Presentada por:  
Francisco Arturo Sánchez Molina**

**Requisito para optar al título de:  
Ingeniero Agrónomo**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2026.**

**Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Departamento de Desarrollo Rural**



**Tesis sobre:**

**“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*)”**

**Presentada por:  
Francisco Arturo Sánchez Molina**

**Requisito para optar al título de:  
Ingeniero Agrónomo**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2026.**

# **Universidad de El Salvador**

## **Rector:**

Ing. M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

## **Secretario General:**

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

## **Facultad de Ciencias Agronómicas**

## **Decano:**

Ing. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

## **Secretario:**

Ing. M. Sc. Edgar Geovany Reyes Melara

## **Jefe del Departamento de Desarrollo Rural**

---

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

### **Asesores**

---

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

---

Ing. M. Sc. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

---

Dr. Wilmer Barrera

## **Coordinadora de Procesos de Grado del Departamento**

---

Licda. M. Sc. Cruz Gilma Ortiz de Alarcón

## RESUMEN

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°46'20.79" N, 89°23'2.74" O, a una elevación de 460 metros sobre el nivel del mar.

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de aplicaciones foliares enriquecidas con calcio y boro sobre la incidencia en la pudrición apical y en la vida de anaquel de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Se realizaron dos experimentos: en el primero se evaluaron tres genéticas del cultivo de tomate (línea G57, línea G36 y genotipo segregante como testigo) y cuatro dosis de fertilizante foliar a base de calcio (6% de calcio). Se realizaron dos aplicaciones semanales en cada parcela de tomate en dosis de: 0.5 lt. ha<sup>-1</sup>, 1 lt. ha<sup>-1</sup>, 1.5 lt. ha<sup>-1</sup> y 0 lt. ha<sup>-1</sup> (testigo), a partir de la etapa de prefloración 15 días después del trasplante hasta el final del ciclo productivo. En el segundo experimento se evaluaron las mismas genéticas del cultivo de tomate y cuatro dosis de fertilizante foliar a base de calcio- boro en dosis de: 100 g. ha<sup>-1</sup>, 200 g. ha<sup>-1</sup>, 300 g. ha<sup>-1</sup> y 0 g. ha<sup>-1</sup> (testigo), se realizaron dos aplicaciones por semana desde la etapa de prefloración 15 días después del trasplante hasta el final del ciclo productivo de la planta.

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.

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y el análisis de varianza (ANOVA), con una probabilidad estadística del 5% (P- valor = 0.05). Se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel® y los programas estadísticos SPSS® versión 25 e Infostat® 2020.

Los resultados obtenidos indican que el mejor tratamiento para prevenir y corregir la pudrición apical en los genotipos de tomate evaluados fue la solución enriquecida con calcio y boro en dosis de 200 g.ha<sup>-1</sup>.

**Palabras claves:** Fertilizante foliar, quelatos, calcio, boro, pudrición apical, tomate, *Solanum lycopersicum*, líneas genéticas, aminoácidos, vida de anaquel.

## ABSTRACT

The research was conducted from January to June 2023 at the Vilmorin-Mikado El Salvador Experimental Station, located in the Belén hamlet, San Juan Opico municipality, La Libertad department, El Salvador, at latitude 13°46'20.79" N, 89°23'2.74" W, at an elevation of 460 meters above sea level.

The objective of the research was to evaluate the effect of foliar applications enriched with calcium and boron on the incidence of blossom end rot and shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits.

Two experiments were conducted: in the first, three genetic strains of the tomato crop (line G57, line G36, and a segregating genotype as a control) and four doses of calcium-based foliar fertilizer (6% calcium) were evaluated. Two weekly applications were made to each tomato plot at doses of 0.5 liters. The experiment evaluated the same tomato cultivars and applied four doses of calcium-boron-based foliar fertilizer at 100 g ha<sup>-1</sup>, 200 g ha<sup>-1</sup>, 300 g ha<sup>-1</sup>, and 0 g ha<sup>-1</sup> (control). The application was carried out twice weekly from the pre-flowering stage 15 days after transplanting until the end of the plant's production cycle.

The research was conducted using a Completely Randomized Block Design (CRBD), with 4 treatments and 3 replicates per treatment. The experimental units consisted of 72 subplots with an area of 2 linear m each and a total area of 600 m<sup>2</sup>. Four tomato plants were used per replicate in each treatment.

Data were analyzed using descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA), with a statistical probability of 5% ( $P = 0.05$ ).

Microsoft Excel® spreadsheets and the statistical programs SPSS® version 25 and Infostat® 2020 were used.

The results obtained indicate that the best treatment to prevent and correct blossom end rot in the tomato genotypes evaluated was the solution enriched with calcium and boron at doses of 200 g.ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** Foliar fertilizer, chelates, calcium, boron, blossom end rot, tomato, *Solanum lycopersicum*, genetic lines, amino acids, shelf life

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la sabiduría, apoyo y brindarme las actitudes y capacidades para poder realizar esta investigación.

A mi padre Moisés Jeremías Sánchez y a mi madre Maira Jacqueline Molina de Sánchez, por todo el apoyo, amor y dedicación para que llegue hasta la culminación de esta investigación y de mi carrera profesional.

A mi esposa Rebeca Sarahí López de Sánchez, por su apoyo y animo incondicional, durante todo el proceso de tesis.

A mis hermanas, Gabriela Sánchez y Emma Sánchez, por apoyarme.

A mi familia por apoyarme, ayudarme y ser ejemplo para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros de la Facultad de Ciencias Agronómicas por su ayuda y participación en mi progreso académico.

Al equipo de BIOAGROLAT por la confianza de poner a prueba su productos y apoyo durante toda la investigación.

A todo el equipo de Vilmorin- Mikado por la contribución de los recursos, confianza y abrirme las puertas de tan grande empresa y permitirme culminar mi investigación.

A todos los docentes con los cuales tuve la fortuna de crecer en mi carrera y su contribución a mi crecimiento académico.

**Francisco Arturo Sánchez Molina**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la sabiduría y brindarme las actitudes y capacidades para poder graduarme de la Universidad de El Salvador y, bendecir y guiar a mis padres con el trabajo y los recursos que ellos necesitaban para apoyarme.

A mi padre Moisés Jeremías Sánchez y a mi madre Maira Jacqueline Molina de Sánchez, por siempre apoyarme en mis estudios y trabajar incansablemente para brindarme todos los recursos económicos, materiales y emocionales que necesite.

A mi esposa Rebeca Sarahí López de Sánchez, por su apoyo y animo incondicional, durante todo el proceso de tesis.

A mis hermanas, Gabriela Sánchez y Emma Sánchez, por apoyarme siempre durante toda mi carrera.

A mis asesores Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ing. M. Sc. Oscar Alonso Rodríguez Gracias y al Dr. Wilmer Barrera, gracias a todos por su tiempo, apoyo, orientación, consejos, por compartirme un poco de todo su conocimiento en este camino y por creer en mis habilidades, aptitudes y en este proyecto.

Al Ing. Carlos Andrés García López representante de BIOAGROLAT, por compartirme su tiempo, conocimiento y por abrirme las puertas de esta gran empresa y sus productos.

Al Ing. Carlos Linares por apoyarme y ayudarme en aspectos agronómicos, búsqueda de información y asesoría dentro de la Estación Experimental de Vilmorin- Mikado El Salvador.

A los trabajadores de la Estación Experimental de Vilmorin- Mikado El Salvador, que me ayudaron en la tesis, por brindarme su ayuda en realizar las diferentes labores del cultivo.

A Mauricio Ángeles por su apoyo en el trabajo de campo y recolección de datos en las etapas finales de mi proyecto.

A mis amigos que me ayudaron y apoyaron para terminar mi carrera y ser un profesional en esta vida.

A BIOAGROLAT por brindarnos su apoyo con los fertilizantes foliares y conocimientos técnicos para dar ese primer paso para llevar a cabo este sueño. Que Dios los bendiga a todos y los cuide siempre.

A DIAGRI, por el apoyo y confianza para permitir culminar mis estudios y formarme como profesional.

**Francisco Arturo Sánchez Molina**

## Índice general

	Página
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
Índice general .....	x
Índice de cuadros .....	xii
Índice de figuras .....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	1
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	1
2.2 Desarrollo Rural.....	2
2.3 Recursos naturales.....	2
2.4. Cultivo de tomate.....	3
2.4.1. Aspectos botánicos del tomate .....	4
2.4.2. Etapas fenológicas del tomate .....	7
2.4.3. Requerimientos edafoclimáticos del tomate.....	8
2.4.4. Labores del cultivo.....	9
2.4.5. Fertilización del tomate.....	11
2.5. Calcio (Ca).....	11
2.5.1. Movilidad del calcio en la planta.....	12
2.6. Boro (B).....	12
2.6.1. Movilidad del boro en la planta.....	13
2.7. Deficiencias nutricionales de calcio y boro en tomate .....	14
2.7.1. Pudrición apical en tomate .....	15
2.8. Nutrición de cultivos.....	17
2.9. Fertilizantes minerales.....	18
2.10. Fuentes orgánicas .....	18
2.11. Macronutrientes y micronutrientes .....	18
2.12. Fertilizantes foliares quelatados.....	19
2.13. Capacidad de campo.....	20
3. OBJETIVOS .....	21
3.1. Objetivo general .....	21

3.2.	Objetivos específicos.....	21
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
4.1.	Ubicación de la investigación.....	22
4.2.	Fase de campo.....	22
4.2.1.	Material experimental.....	22
4.2.2	Siembra y manejo de plantines .....	23
4.2.3	Preparación del terreno .....	25
4.2.4	Trasplante de plantines al terreno .....	26
4.2.5	Manejo fitosanitario del experimento .....	27
4.2.6	Aplicación de los productos en cada tratamiento.....	28
4.2.7	Recolección de datos .....	28
4.3	Metodología estadística .....	29
4.3.1	Tamaño de la parcela y muestreos.....	30
4.3.2	Tratamientos en estudio .....	31
4.3.3	Modelo estadístico .....	33
4.3.4	Análisis de varianza.....	33
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	35
5.1.	Firmeza de frutos .....	35
5.2.	Pudrición apical del fruto (blossom) .....	38
5.3.	Número total de frutos.....	41
5.4.	Firmeza de frutos .....	44
5.5.	Pudrición apical del fruto.....	47
5.6.	Número total de frutos.....	50
6.	CONCLUSIONES .....	54
7.	RECOMENDACIONES.....	56
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	57

## Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Contenido de vitaminas y minerales en 100 g de tomate.....	4
Cuadro 2. Características físicas y químicas óptimas del suelo para el cultivo de tomate.....	9
Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate. ....	11
Cuadro 4. Composición del producto quelatado (porcentaje peso/volumen).....	20
Cuadro 5. Manejo de plantines en la estación de Vilmorin-Mikado. ....	23
Cuadro 6. Preparación del terreno de siembra definitivo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Cuadro 7. Transplante de plantines al terreno definitivo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.6</b>
Cuadro 8. Manejo y programa fitosanitario del experimento. <b>¡Error! Marcador no definido.7</b>	
Cuadro 9. Tratamientos que se evaluaron en la investigación. ....	318
Cuadro 10. Análisis de varianza (ANAVA) de un diseño factorial con arreglo de bloques completamente al azar.....	349
Cuadro 11. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en la firmeza del fruto (LBF/CM2).	35
1	
Cuadro 12. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en la firmeza del fruto (LBF/CM2). ....	364
Cuadro 13. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AXB) en la firmeza del fruto (LBF/CM2).....	375
Cuadro 14. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en pudrición apical del tomate.....	386
Cuadro 15. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en pudrición apical del tomate. ....	397
Cuadro 16. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en el número de frutos de tomate.....	418
Cuadro 17. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en el número total de frutos de tomate.....	429
Cuadro 18. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AXB) en el número total de frutos de tomate. ....	40
Cuadro 19. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en la firmeza del fruto (LBF/CM2). ....	441

Cuadro 20. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en la firmeza del fruto (LBF/CM2). .....	452
Cuadro 21. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AXB) en la firmeza del fruto (LBF/CM2).....	463
Cuadro 22. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en pudrición apical del tomate.....	474
Cuadro 23. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio y boro en pudrición apical del tomate.....	485
Cuadro 24. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AXB) en pudrición apical del tomate.....	46
Cuadro 25. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en el número de frutos de tomate.....	507
Cuadro 26. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio y boro en pudrición apical del tomate.....	48
Cuadro 27. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en pudrición apical del tomate.....	49
Cuadro 28. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en el número de frutos de tomate.....	50
Cuadro 29. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio y boro en el número total de frutos de tomate.....	51
Cuadro 30. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en el número total de frutos de tomate.....	52

## Índice de figuras

	Página
Figura 1. Tallo de la planta de tomate.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Hojas de la planta de tomate.....	5
Figura 3. Flor de la planta de tomate.....	5
Figura 4. Frutos de la planta de tomate.....	6
Figura 5. Semillas de tomate.....	6
Figura 6. Plantines de tomate. ....	7
Figura 7. Planta de tomate en desarrollo. ....	7
Figura 8. Planta de tomate en producción.....	8
Figura 9. Movilidad de los nutrientes a nivel del suelo y planta. ....	14
Figura 10. Curva de acumulación de calcio por la planta de tomate. ....	16
Figura 11. Ubicación de la investigación. ....	22
Figura 12. Fertilizantes foliares quelatados utilizados en la investigación. ....	23
Figura 13. Plantines de tomate después de manejo en plantinero. ....	255
Figura 14. Área de muestreo en la parcela (Rodríguez 2021). ....	30
Figura 15. Distribución de los tratamientos en campo.....	32
Figura 16. Unidad experimental. ....	32
Figura 17. Experimento 1, Réplica 1. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (factor tratamientos combinación de genotipos y diferentes dosis de calcio). .....	36
6	
Figura 18. Experimento 1. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en la firmeza del fruto (lb.f./cm <sup>2</sup> ).....	37
Figura 19. Experimento 1. Réplica 1. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en frutos de tomate con pudrición apical. .....	399
Figura 20. Experimento 1. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en frutos de tomate con pudrición apical. .....	400
Figura 21. Experimento 1. Réplica 1. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en el número total de frutos de tomate.....	42

Figura 22. Experimento 1. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en el número total de frutos de tomate. ....	433
Figura 23. Experimento 2. Réplica 1. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en la firmeza del fruto (lb.f./cm <sup>2</sup> ).....	45
Figura 24. Experimento 2. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en la firmeza del fruto en libras fuerzas/cm <sup>2</sup> (lb.f./ cm <sup>2</sup> ). ....	466
Figura 25. Experimento 2. Réplica 1. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en la presencia de pudrición apical en tomate.....	488
Figura 26. Experimento 2. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en la presencia de pudrición apical en tomate.....	499
Figura 27. Experimento 2. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en el número total de frutos de tomate. ....	511
Figura 28. Experimento 2. Réplica 2. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de los tratamientos (Factor AxB) en el número total de frutos de tomate .....	522

## **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 (msnm). 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), 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 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. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los estados miembros en el año 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para el 2030. A través de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible reconocen que

el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad medioambiental, económica y social (PNUD 2021).

Con esta investigación se contribuyó al cumplimiento del Objetivo 2, Hambre cero, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## **2.2 Desarrollo Rural**

El principal objetivo del desarrollo rural es la reducción de la pobreza, ya que más del 75% de los pobres del mundo vive en áreas rurales. En todos los países en desarrollo las familias pobres de las áreas rurales superan en número a sus símiles de las zonas urbanas, sufren condiciones de limitación de recursos más visibles que su contraparte urbana y tienen un acceso más limitado a servicios sociales básicos como higiene, agua potable, salud y educación; son, en consecuencia, víctimas de niveles desproporcionados de hambre, salud deficiente y analfabetismo. Es evidente que las familias pobres rurales deben hacer frente a obstáculos abrumadores para romper el ciclo de la pobreza (FAO 1999).

Según la FAO (1999), la agricultura es la clave para reducir la pobreza rural ya que da empleo a más de la mitad de toda la fuerza laboral de los países en desarrollo. La mayor parte de los habitantes del mundo que viven en extrema pobreza depende de la agricultura para subsistir, la cual, tiene eslabonamientos con el sector rural no agrícola al que compra insumos como semillas y herramientas, provee de materias primas para las industrias que se sustentan en la actividad agrícola y genera una demanda por bienes y servicios como vivienda, muebles y vestuario. En consecuencia, el crecimiento agrícola puede incrementar los ingresos de las familias pobres de las áreas rurales en forma directa a través de una mayor producción y una demanda adicional de mano de obra agrícola, y también en forma indirecta mediante vínculos con las actividades productivas no agrícolas que se desarrollan en las áreas rurales.

## **2.3 Recursos naturales**

Son todos los materiales que se obtienen del planeta tierra como el agua superficial o subterránea y los océanos, minerales, petróleo y carbón mineral, rocas, además de los recursos bióticos que son objeto de explotación: ganado, peces y bosques. Los recursos naturales son necesarios para satisfacer los requerimientos de alimentación, vestido, vivienda, energía y demás productos de la población actual, pero también deben de garantizar el bienestar de las generaciones futuras (GRN 2016).

Los recursos naturales están constituidos por componentes bióticos y abióticos, y representan la fuente básica de provisión de materias primas naturales y no transformadas que son necesarias para la existencia humana (plantas, animales, minerales, agua, aire) (Delgado 2010).

#### 2.4. Cultivo de tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es una planta originaria de la planicie costera occidental de América del Sur. Fue introducido por primera vez en Europa a mediados del siglo XVI y se comenzó a cultivar comercialmente a principios del siglo XIX, etapa en que inició la industrialización y diferenciación de las variedades para mesa e industria. En las últimas décadas, la introducción a América tropical de los cultivares mejorados en Estados Unidos y Europa -en particular de los híbridos- ha ido eliminando los cultivares nativos de calidad inferior.

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. Es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia por su valor económico y su alto contenido de vitaminas y minerales (CENTA 2018).

Se consume el fruto el cual tiene un valor vitamínico elevado, aunque posee un valor calórico bajo. Dentro del contenido de nutrientes destaca la importancia de la vitamina C (por cada 100 g que se consumen en crudo posee 23 mg) cuyo contenido varía con el grado de madurez, estado de cultivo, época, variedad, entre otras. Los niveles de vitamina A y calcio son también importantes, siendo cerca de 900 UI para la primera y 13 mg/100 g para el calcio. La acidez del jugo fluctúa entre un pH de 4 y 4.5. Los frutos pueden consumirse frescos, al natural en pasta, salsas, jugos y en los diferentes platillos culinarios, proporcionando color y sabor (CENTA 2018).

Cuadro 1. Contenido de vitaminas y minerales en 100 g de tomate.

<b>Vitaminas y minerales</b>	<b>Contenido</b>
Calcio	13 mg
Vitamina A	900 UI
Tiamina	60 ug

Riboflavina	40 ug
Hierro	0.5 mg
Fósforo	27 mg
Niacina	0.7 mg
Ácido ascórbico	23 g

Fuente: CENTA (2018).

#### 2.4.1. Aspectos botánicos del tomate

El tomate es una planta dicotiledónea y herbácea perenne que se cultiva en forma anual para el consumo de sus frutos (INTA 2016).

- **Tallo**

Es herbáceo, aunque tiende a lignificarse en las ramas viejas, es frágil, redondo y erecto, semi leñoso, con pelos glandulares que le confieren el olor característico (INTA 2016).



Figura 1. Tallo de la planta de tomate.

- **Hojas**

Son compuestas, alternas, imparipinadas, con folíolos dentados o lisos y con pelos glandulares (CENTA 2018).



Figura 2. Hojas de la planta de tomate.

- **Flor**

Las inflorescencias son racimos en cimas de flores con cinco pétalos, cinco sépalos largos lanceolados y cinco estambres en columnas que rodean el estilo; el cáliz es persistente. Las flores no se abren simultáneamente, de modo que siempre hay botones, flores y frutos en el mismo gajo o ramilla. La antesis (apertura de flor) por lo común ocurre en las primeras horas del día y 24 horas después se inicia la salida del polen, este aparece en el lado interno de las anteras y cae directamente sobre la superficie de los estigmas (INTA 2016).

La fórmula floral del cultivo de tomate es la siguiente:

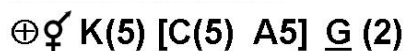


Figura 3. Flor de la planta de tomate.

- **Fruto**

Al fruto de tomate se le denomina baya (fruto que contiene las semillas rodeadas por pulpa), se produce y desarrolla a partir de un ovario de 5 a 10 mg de peso, el número de lóculos dependerá de las variedades que van desde cuatro a seis y su peso final a la madurez comercial oscila entre 5 a 500 g (Pérez 2002).



Figura 4. Frutos de la planta de tomate.

- **Semilla**

Es plana y ovalada, con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1 mm. Si se almacena por periodos prolongados se recomienda hacerlo a una humedad de 5.5%. Una semilla de calidad debe tener al menos el 95% de germinación (CENTA 2018).



Figura 5. Semillas de tomate.

### 2.4.2. Etapas fenológicas del tomate

Según CENTA (2018), el tomate tiene las siguientes etapas de desarrollo en su ciclo de crecimiento: establecimiento de la planta joven, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo de frutos y maduración. Cada etapa es diferente con respecto a sus necesidades nutritivas:

- **Fase inicial**

Comienza con la germinación de la semilla a partir del primero hasta los 21 días. Se caracteriza por el rápido aumento de materia seca, la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.



Figura 6. Plantines de tomate.

- **Fase vegetativa**

Es la continuación de la fase inicial, pero el aumento en materia seca es más lento; esta etapa termina con la floración entre los 50 y 55 días. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión.



Figura 7. Planta de tomate en desarrollo.

- **Fase productiva**

Se inicia a partir de la formación del fruto y dura entre 30 a 40 días hasta alrededor de 120 días.



Figura 8. Planta de tomate en producción.

#### **2.4.3. Requerimientos edafoclimáticos del tomate**

Los requerimientos edafoclimáticos del tomate son los siguientes:

- **Radiación**

El tomate es un cultivo insensible a la duración del día, sin embargo, requiere de buena iluminación, la cual se modifica por la densidad de siembra, sistema de poda, tutorado y prácticas culturales que optimizan la recepción de los rayos solares, especialmente en época lluviosa cuando la radiación es más limitada, requiere un mínimo de 6 horas de luz al día (CENTA 2018).

- **Altitud**

En El Salvador el cultivo de tomate se desarrolla desde los 20 a 2,000 metros sobre el nivel del mar, todo depende del material utilizado y su adaptabilidad a la zona destinada para su explotación (Pérez 2002).

- **Temperatura**

La temperatura óptima es de 26° C en el día y 18° C durante la noche (Pérez 2002).

- **Humedad del aire**

En el cultivo de tomate es conveniente que la humedad relativa (HR) del aire sea entre 70% y 80%, valores superiores favorecen el desarrollo de enfermedades del follaje (CENTA 2018).

- **Agua**

Las necesidades de agua por la planta son de aproximadamente 1.5 litros/ día, la cual varía según la zona, época del año y el tipo de suelo. Los mejores rendimientos se dan a capacidad de campo (Pérez 2002).

- **Suelo**

Las características físicas y químicas del suelo para que el tomate tenga un desarrollo óptimo se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características físicas y químicas óptimas del suelo para el cultivo de tomate.

<b>Característica física</b>	<b>Rango óptimo</b>	<b>Característica química</b>	<b>Rango óptimo</b>
Textura	Franco a franco arcilloso	pH	5.5 - 6.0
Profundidad efectiva	Mayor de 80 cm	Nitrógeno	Según tipo de suelo
Densidad aparente	1.20 g/cc	Fósforo	13 - 40 ppm
Color	Oscuro	Potasio	5%
Contenido de materia orgánica	Mayor de 3.5%	Calcio	15%
Drenaje	Bueno	Magnesio	18%
Capacidad de retención de humedad	Buena	Acidez total	Menor de 10%
Topografía	Plano o semiplano	Conductividad eléctrica	0.75 - 2 mmhos/cm
Estructura	Granular		

Fuente: CENTA (2018).

#### **2.4.4. Labores del cultivo**

Según Pérez (2002), las labores a realizar en el cultivo de tomate para que las plantas mantengan su vigor, crezcan adecuadamente, tengan frutos de calidad y excelente sabor, son las siguientes:

- **Elaboración de plantines**

La producción de plántulas en bandejas es el método ideal para lograr plantas de calidad, se recomienda utilizar bandejas de 84, 105, 128 o 200 celdas, según la especie de hortaliza a sembrar. Con esta técnica se pretende producir plántulas libres de enfermedades como el mal de talluelo y problemas virales. Una vez sembrada la semilla, tapada y regada, las bandejas se introducen en cámaras de germinación, la cual puede ser desde una cubierta plástica hasta un cuarto especializado con control de humedad y temperatura, con el fin de que el sustrato no pierda humedad ya que se limita el movimiento del aire, manteniendo una temperatura adecuada para la germinación de las semillas.

- **Tutorado**

Es una práctica para mantener las plantas erguidas durante el ciclo agrícola y evitar daño a los frutos y follaje, la cual se debe hacer después del trasplante, existen diversos materiales para realizarlo, los más usados son la pita nylon.

- **Aporco**

Se realiza entre los 18 y 25 días después del trasplante, con esta práctica se logra mayor fijación de las plantas al suelo, proporciona oxigenación y ayuda a controlar plantas arvenses.

- **Poda**

Consiste en la eliminación de hojas viejas que puedan ser receptoras de enfermedades, principalmente las que se encuentran cerca del suelo y toda hoja ubicada por debajo del primer racimo floral, con el objetivo de favorecer la ventilación de la planta y disminuir la incidencia de enfermedades del follaje y otros órganos de la planta.

En variedades de tomate de crecimiento determinado se recomienda solo podar los brotes axilares de las primeras cinco hojas y posterior a ellas dejarlos a libre crecimiento debido a que este tipo de plantas son de porte pequeño y presentan una ramificación corta, y la yema vegetativa se transforma en una inflorescencia.

Debido a que las variedades de tomate de crecimiento indeterminado presentan un crecimiento indefinido se tiene como objetivo optimizar el área y mejorar la calidad de los frutos, por lo cual se realiza poda de brotes axilares dejando un solo eje central o formando dos ejes de producción.

La poda de frutos consiste en la eliminación de algunos frutos de cada racimo para permitir el desarrollo normal de estos. El número de frutos por racimo depende del cultivar y el destino, sea este de cocina o ensalada.

#### **2.4.5. Fertilización del tomate**

Según Pérez (2002), la fertilización es la adición de macro y micronutrientes contenidos en formulaciones químicas, en el momento oportuno, con el fin de suplir las deficiencias nutricionales detectadas en los análisis de suelo y foliar. El cultivo de tomate presenta requerimientos altos en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, para obtener una alta producción de frutos y de buena calidad.

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate.

<b>Elemento</b>	<b>Kg/ha</b>
Nitrógeno	150
Fósforo	200
Potasio	275
Magnesio	25
Calcio	15
Azufre	22

Fuente: CENTA (2018).

#### **2.5. Calcio (Ca)**

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. Otras de sus funciones son la polimerización de aminoácidos (formación de proteínas), regulador enzimático, modulación de la acción de hormonas y señales, y contribuye al equilibrio iónico de la célula (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. El calcio 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).

El calcio no es tóxico, aun en concentraciones altas, funciona como un agente desoxidante atrapando compuestos y manteniendo el balance catiónico - aniónico en la vacuola. Debido a que el calcio es parte de la pared celular y funciona como el cemento que liga las paredes celulares, es uno de los factores más significativos de la firmeza y vida de anaquel. Además, la viabilidad de semillas está directamente correlacionada con la concentración de calcio (Albion Plant Nutrition 2014).

### **2.5.1. Movilidad del calcio en la planta**

Las plantas consumen calcio en forma de ion  $\text{Ca}^{2+}$ . En la raíz estos iones inician su movimiento preferentemente por la vía apoplasto y principalmente en raíces jóvenes. Estando en la endodermis suelen encontrarse con una barrera física (bandas de Caspary), y cuando no pueden superarla vía apoplasto entran a las células por medio de canales que les permiten continuar el trayecto hasta el xilema (vía simplasto), sin embargo, el movimiento del calcio por esta vía es restringida.

El máximo reparto del calcio hacia el xilema se da en las raíces jóvenes, principalmente en la zona apical de éstas, debido a la mayor permeabilidad. Cuando el calcio es absorbido por las raíces es transportado hacia las hojas a lo largo de la corriente transpiratoria a través de los vasos xilemáticos. Ésta es la ruta del calcio dentro de la planta desde las raíces hasta las hojas y frutos. Las hojas son los órganos donde se concentra la mayor parte del calcio absorbido, pues presentan una mayor tasa de transpiración que los frutos. El calcio que llega a los frutos es el que se consume en las primeras etapas de desarrollo, que también coincide con el periodo en que el xilema es el principal proveedor de agua y solutos (INTAGRI 2015).

El calcio tiene limitada movilidad dentro de la planta. Entra por las raíces de la planta desde la solución del suelo y fluye hacia las partes aéreas de las plantas por medio del xilema. Las zonas de la planta que están respirando más activamente reciben la mayor parte del calcio porque es hacia donde se dirige en un principio la savia, ya que, a diferencia de muchos otros nutrientes, el calcio no puede ser redistribuido vía floema a las partes aéreas de crecimiento que necesitan calcio para construir nuevos tejidos (Bataller Gómez 2014).

### **2.6. Boro (B)**

Este elemento 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 B 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).

### **2.6.1. Movilidad del boro en la planta**

Según Acuña y Molina (2007), el boro es un micronutriente con un difícil manejo debido a que su movilidad en el floema varía marcadamente entre las especies vegetales con síntomas de deficiencia y toxicidad en un rango bastante estrecho.

El boro está involucrado en la producción de ácidos nucleicos y hormonas vegetales, el movimiento de azúcares en las plantas y en el metabolismo de carbohidratos y su translocación (YARA 2024a).

El boro es móvil en el floema de aquellas especies que utilizan polioles (azúcares simples: manitol, sorbitol) como un metabolito fotosintético primario con alta afinidad para enlazar al boro, para su posterior transporte en el floema hacia zonas de acumulación activa como los meristemas vegetativos o reproductivos como por ejemplo peras, nísperos, olivo y ciruela. Por el contrario, en las especies que no producen cantidades significativas de polioles, el boro una vez translocado con el flujo de la transpiración hasta las hojas permanece inmóvil sin reentrar en el floema. En estas especies el boro se acumula en las partes terminales de las venas de las hojas describiendo un gradiente abrupto, de modo que la concentración en el peciolo o nervadura central es menor que en la lámina media, y ésta a su vez es menor que en los márgenes y ápices, así estas especies exhiben los síntomas clásicos de toxicidad de boro presentes como quemaduras en la márgenes y puntas de las hojas en pera, nuez y tomate (Acuña y Molina 2007).

Los elementos calcio y boro su movilidad es muy baja o no se movilizan una vez que han sido distribuidos dentro de la planta y localizado en la corriente floemática, donde el pH tiende a ser alcalino, aquí hay presencia de cargas negativas en la pared celular del floema y los compuestos orgánicos se disocian totalmente. Estos elementos son atrapados por las cargas

negativas del tejido floemático. La absorción de los nutrientes cuando son aplicados en forma foliar es realizada a través de los estomas (que son válvulas microscópicas situadas en el envés de las hojas) y en mínimas cantidades por la cutícula (capa cerosa delgada que ayuda a proteger a la planta de la deshidratación), su traslación es por el floema (tejido conductor de materiales alimenticios); siendo las hojas más jóvenes las que mejor absorben los nutrientes. La superficie inferior de la hoja absorbe de 3 a 5 veces más que la superficie superior, debido a que la cutícula es más delgada y hay mayor cantidad de estomas, y los vasos floemáticos están más cerca (PROCAFE 1998).

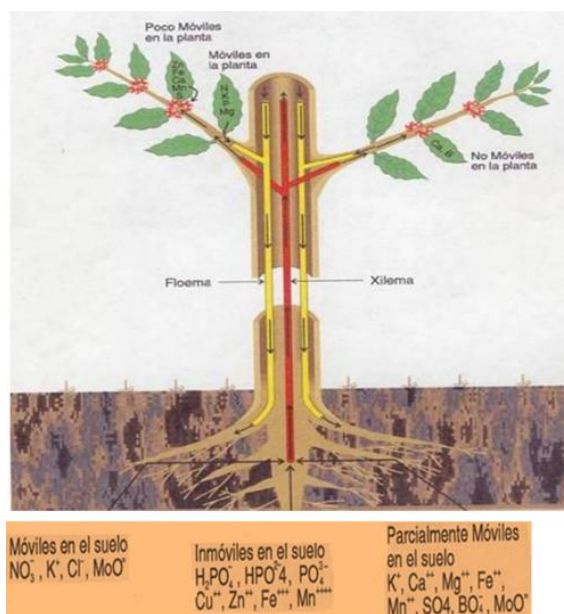


Figura 9. Movilidad de los nutrientes a nivel del suelo y planta.

## 2.7. Deficiencias nutricionales de calcio y boro en tomate

La carencia o exceso de un elemento puede expresarse de una forma muy distinta según el cultivo, incluso en especies del mismo género. Los síntomas en las hojas viejas son a consecuencia de la falta de nutrientes móviles como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, que van a desplazarse a la zona de crecimiento; mientras que cuando los síntomas se observen inicialmente en hojas jóvenes, es porque se tiene deficiencias de elementos inmóviles como el hierro, manganeso, calcio y boro, o de escasa movilidad como el zinc, cobre y azufre.

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 (AgroLógica 2012).

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).

#### **2.7.1. Pudrición apical en tomate**

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).

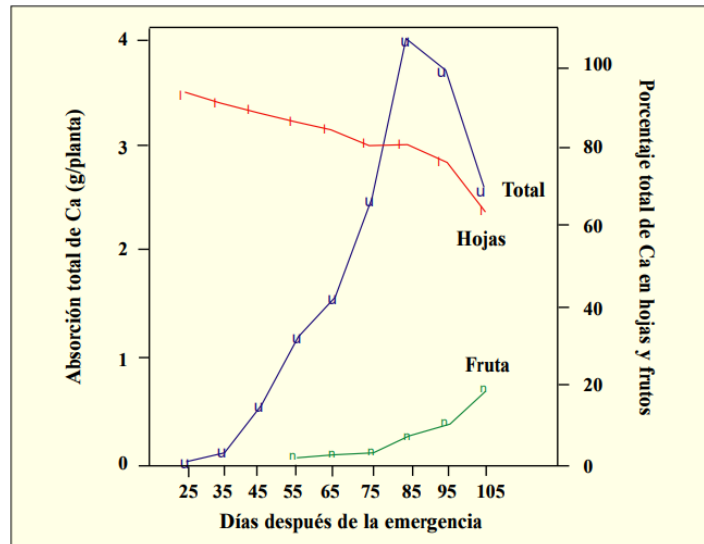


Figura 10. Curva de acumulación de calcio por la planta de tomate.

La pudrición apical o End Rot (BER) del tomate es la fisiopatía responsable de cuantiosas pérdidas económicas, en especial en aquellas variedades susceptibles. Su aparición se atribuye a alteraciones en absorción y transporte de calcio de las raíces a los frutos, concretamente en su parte distal. Otros estudios también correlacionan la aparición de esta fisiopatía con otros factores que afectan directa o indirectamente la absorción y transporte del calcio, estos incluyen: alta salinidad del suelo o en su caso solución nutritiva, estrés hídrico, anoxia (ausencia de oxígeno) (INTAGRI 2015).

En tomate de invernadero y en casa Malla donde las exigencias de calcio son elevadas, las probabilidades de desarrollar esta fisiopatía son altas si no se atiende adecuadamente el calcio en la nutrición del cultivo. La falta de calcio provoca una pérdida de integridad de las membranas y paredes celulares (tejidos en los frutos), ocasionado ruptura de paredes celulares y mezcla de los componentes del citosol y de los contenidos de los diferentes compartimentos celulares. En términos prácticos esto significa pérdida de turgencia de las partes apicales de los frutos con progresión en forma de círculos concéntricos.

La aparición de pudrición apical End Rot en tomate se debe a la falta de coordinación entre el transporte de asimilados por el floema y el calcio por el xilema, y la rápida elongación celular en el tejido placentario distal del fruto. Es decir, se trata de una interacción entre la tasa de crecimiento del fruto y la tasa de adquisición del calcio en la parte distal del mismo. También se le atribuye a un componente genético, es decir, las características genéticas de la variedad

difieren en su capacidad de utilización del calcio. Esta variación se refiere tanto a nivel de raíces como en su distribución dentro de la planta. De aquí la importancia de una adecuada selección de variedades con menor susceptibilidad a pudrición apical del fruto (INTAGRI 2015).

Fisiológicamente el calcio tiene la capacidad de coordinación, por lo cual tiene la posibilidad de formar uniones intermoleculares, el calcio se une a grupos R-COO<sup>-</sup> de pectinas (polímeros del ácido poligalacturónico) para formar pectatos de calcio, la degradación de estos pectatos es por una enzima llamada poligalacturonasa, por esta razón los frutos de tomate que contienen bajos niveles de calcio presentan un incremento en la actividad de esta enzima provocando la ruptura de protopectinas que constituyen las paredes celulares ocurriendo así la pudrición apical del fruto.

La reducción en la calidad del fruto es evidente, comienza por un punto obscuro en la parte apical, que se expande a medida el desorden fisiológico avanza, puede llegar a cubrir hasta la mitad del fruto observándose en la epidermis una textura lisa con apariencia seca de color café y tomando una coloración negra en el mesocarpio como resultado de la infección de organismos secundarios, principalmente hongos fitopatógenos, ocasionando la destrucción completa del fruto infectado (INTAGRI 2015).

## **2.8. Nutrición de cultivos**

Según la FAO (1999), las plantas elaboran su biomasa y frutos usando agua, bióxido de carbono tomado del aire, energía solar y nutrientes extraídos del suelo y del agua. Para un óptimo crecimiento de la planta los nutrientes deben poseer las siguientes características:

- Solubles en el agua contenida en el suelo.
- En cantidades adecuadas y equilibradas, de acuerdo con el momento de demanda del cultivo.
- De forma accesible al sistema radicular (excepto cuando se proporcionan por vía foliar).

Las plantas toman los nutrientes de las reservas del suelo, de los fertilizantes minerales, fuentes orgánicas, el nitrógeno atmosférico a través de la fijación biológica, las deposiciones aéreas de origen eólico y pluvial, irrigación, aguas subterráneas o inundación, y sedimentación provocada por las escorrentías.

## **2.9. Fertilizantes minerales**

El término fertilizantes químicos o artificiales es frecuentemente usado para referirse a estos productos, pero es erróneo, porque los nutrientes suministrados por los fertilizantes minerales son iguales a los que se producen en el proceso de mineralización de la materia orgánica a través de la acción de microorganismos en el suelo; en realidad algunos fertilizantes provienen directamente de procesos naturales, tal es el caso del guano, sales de potasio, o nitratos sódicos naturales.

Los fertilizantes minerales son fabricados en forma líquida o sólida, generalmente a través de un proceso industrial, los cuales pueden aportar los nutrientes principales y secundarios, los micronutrientes o una mezcla de nutrientes. Los fertilizantes simples suplen sólo un nutriente, mientras que los complejos pueden suministrar varios. Los fertilizantes compuestos pueden ser el resultado de la mezcla o de enlaces químicos entre los fertilizantes simples o nutrientes (FAO 1999).

## **2.10. Fuentes orgánicas**

El término fertilizantes orgánicos se utiliza con frecuencia de manera incorrecta para describir las fuentes de nutrientes que contienen menos del 5% de al menos uno de los tres elementos primarios, Nitrógeno, Fosforo y Potasio (FAO 1999).

## **2.11. Macronutrientes y micronutrientes**

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo el oxígeno (O), hidrógeno (H) y carbono (C) provenientes del agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta de manera radicular directamente de la solución del suelo o a través del follaje (fertilización foliar), se clasifican en macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1%, con base en la masa seca. Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca. Con estos elementos y la luz del sol las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan. Sin embargo, otros elementos minerales son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones (Guzmán y Gálvez 2004).

Según Guzmán y Gálvez (2004), existen tres criterios por los cuales un elemento es considerado esencial para las plantas, estos son:

- Un elemento es esencial si una planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia de tal elemento.
- Un elemento es esencial si la función de este elemento no puede ser reemplazado por otro elemento mineral.
- Un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta, que es en sí mismo esencial para ésta, como por ejemplo el nitrógeno en las proteínas o el magnesio en la clorofila.

De acuerdo con INTAGRI (2015), los micronutrientes son los elementos que se requieren en menores cantidades por los cultivos, pero esto no significa que son menos importantes que el resto de los elementos; llevan a cabo funciones trascendentales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas, y cualquier deficiencia ocasiona un decremento en la productividad del cultivo. Estos elementos son el zinc, hierro, cobre, manganeso, molibdeno y el boro.

### **2.12. Fertilizantes foliares quelatados**

Un quelato es un compuesto donde un nutriente metálico es ligado a un agente quelatante orgánico, que tiene la propiedad de estar disponible para la planta bajo condiciones adversas (por ejemplo, pH, presencia de fósforo, aceites, otros), en las cuales los nutrientes metálicos normalmente formarían compuestos insolubles (Barquero 1999).

Los fertilizantes foliares quelatados son una serie de minerales para uso en el follaje de las plantas, que han sido quelados con una serie de aminoácidos altamente bioactivos. Los aminoácidos son los componentes básicos de la proteína, son moléculas naturales de rápida y fácil asimilación por la planta intracelularmente. El mineral queda entonces disponible para ser utilizado por la planta en un lapso de horas después de aplicado. Los fertilizantes foliares quelatados líquidos están diseñados para aplicación a las plantas para prevenir o corregir deficiencias de nutrientes que pueden limitar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, son solubles en agua y no tóxicos para las plantas cuando se aplican de acuerdo a lo recomendado, pueden ser utilizados en hortalizas, granos y semillas, tubérculos, cucurbitáceas, coles, vegetales, frutas, pastos, café, arroz, maíz, flores y follajes.

Los fertilizantes foliares quelatados incrementan la salud de la planta y el crecimiento, mejoran la asimilación dentro de la planta, hay una distribución más rápida de la nutrición mineral, las plantas son más robustas, se tienen mayores rendimientos, existe mejor cuaje de la flor y el fruto, hay incremento de vigor y mayor contenido de azúcares. La composición mineral de los fertilizantes foliares quelatados es de carga neutral, por lo tanto, no son atraídos ni repelidos por las cargas negativas de la superficie de la hoja, así que pasan libremente a través de la cutícula. Cuando el mineral adherido al aminoácido alcanza la membrana celular, es reconocido por los mecanismos de absorción como una fuente de nitrógeno orgánico, como resultado, el quelato entero es llevado dentro de la célula rápidamente y traslocado vía floema como un proteinato (Albion Plant Nutrition 2014).

La fórmula única de los fertilizantes foliares quelatados utiliza moléculas de aminoácido muy pequeñas, en consecuencia, estas pasan fácilmente a través de las barreras contra la absorción de la planta que incluyen la cutícula y las células de la membrana. Investigaciones realizadas indican que las plantas pueden absorber el 90% o más de los fertilizantes foliares quelatados aplicados al follaje en dos o tres horas (Albion Plant Nutrition 2014).

Cuadro 4. Composición del producto quelatado (porcentaje peso/volumen)

<b>Producto</b>	<b>Calcio</b>	<b>Boro</b>
Fertilizante foliar Calcio	10	
Fertilizante foliar Calcio Boro	18.19	5

Fuente: Albion Plant Nutrition (2014).

### **2.13. Capacidad de campo**

Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro. El concepto de capacidad de campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una capacidad de campo claramente definida. La capacidad de campo se determina mejor en el campo saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos (FAO 1999).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de aplicaciones foliares enriquecidas con calcio y boro sobre la incidencia en la pudrición apical, número total de frutos y la vida de anaquel de frutos de tomate.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Determinar si la aplicación foliar de soluciones enriquecidas con calcio y boro contribuyen a la corrección de la pudrición apical en tomate.
- Medir el cuaje de frutos en plantas tratadas con diferentes soluciones enriquecidas con calcio boro.
- Corroborar que la firmeza del fruto de tomate aumenta con la aplicación de soluciones enriquecidas con calcio y boro, mejorando la vida de anaquel del tomate.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. 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°46'20.79" N, 89°23'2.74" O, a una elevación de 460 metros sobre el nivel del mar.

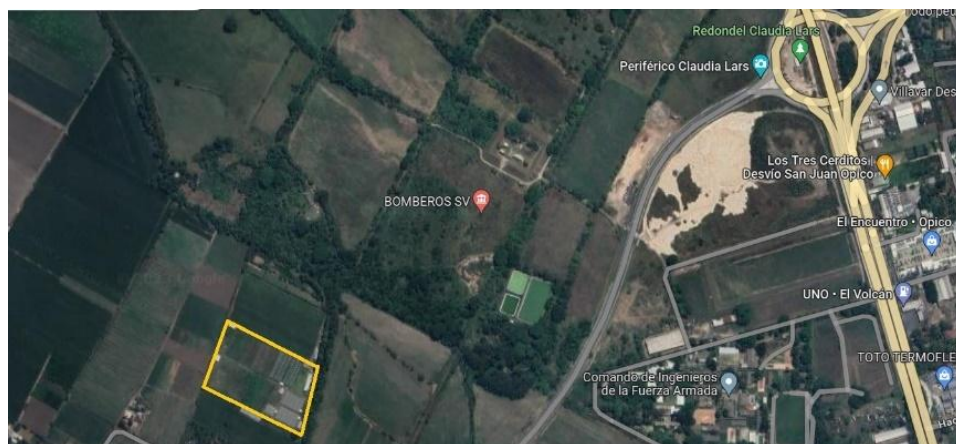


Figura 11. Ubicación de la investigación.

### 4.2. Fase de campo

#### 4.2.1. Material experimental

Las semillas de tomate de la línea G57 (genotipo -G2-), línea G36 (genotipo -G3-) y línea G segregante (genotipo -GC-) fue proporcionado por Vilmorin-Mikado El Salvador. Los fertilizantes foliares quelatados que se evaluaron en esta investigación fueron Metalosate Calcio y Metalosate Calcio Boro, los cuales fueron proporcionados por la empresa BIOAGROLAT (Bio-AGROLAT 2018).



Figura 12. Fertilizantes foliares quelatados utilizados en la investigación.

#### 4.2.2 Siembra y manejo de plántines

El manejo en la etapa de plantinero se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Manejo de plántines en la Estación de Vilmorin-Mikado.

Actividad/ fecha	Producto utilizado	Ingrediente activo	Dosis	Control	Manera de aplicación	Nota
Siembra	Sustrato flora					El sustrato debe humedecerse hasta llegar a capacidad de campo.
	Aplicar fungicida Prevalor 84 SL	Fosetil aluminio + propomocarb	2 cc /litro de agua	Mal de talluelo, (Fusarium spp; Pythium spp; Rhizoctonia spp)	Riego al sustrato	Hacerlo con cuidado para evitar sacar la semilla del sustrato.
2 días después de la siembra cambio a plantinero	Aplicar fungicida Prevalor 84 SL	Fosetil aluminio + propomocarb	2 cc/ litro de agua	Mal de talluelo, (Fusarium spp; Pythium spp; Rhizoctonia spp)	Riego al sustrato	Colocarlo en un lugar donde el sol no llegue directamente, o colocar la pantalla del plantinero.
Evitar elongación						Retirar la tela que proporciona sombra provisional.
10 días después de la siembra	Raizal 400	N-9, P-45, K-11 + auxinas	1 gr/ litro de agua	Mejorar el crecimiento radicular	Riego al sustrato	Regar hasta humedecer bien el sustrato, después aplicar el producto y volver a regar moderadamente para que el calcio llegue a la radícula del plantín y no quede en la superficie.

12 días después de la siembra	Fungicida Banrot 40 WP	Tiodiazol, carbamato, etridiazol, metil tiofanato	0.57 gr/ litro de agua	Mal del talluelo (Phytophthora sp), y Enfermedades de la raíz (Fusarium spp, Phytophthora sp, Rhizoctonia sp, Thielaviopsis sp y Pythium)	Riego al sustrato	Regar suavemente para lavar las hojas ya que este producto no debe caer en el follaje.
Control de Mosca blanca en plantinero	Insecticida Muralla® Delta 190 OD	Deltamethrin + Imidacloprid OD 190 (40 + 150 gr/ l)	1ml/ litro de agua	Polilla del tomate, cochinilla de las hortalizas y mosca blanca	Aspersión con bomba de motor	Reingreso 12 horas después de la aplicación.
17 días después de la siembra	Nitrato de calcio	15.5 – 0 - 0 + 19% de Ca	3 gr/ litro de agua	Mejorar el color y nutrición de la planta	Riego al sustrato	Regar hasta humedecer bien el sustrato, después aplicar el producto y volver a regar suavemente para que el calcio llegue a la radícula del plantín y no quede en la superficie
Control de Mosca blanca en plantinero	Insecticida Starkle 20 SG	Dinotefuran	0.75 gr/ litro	Mosca blanca	Aspersión con bomba de motor	Reingreso 12 horas después de la aplicación
24 días después de la siembra	Nitrato de calcio	15.5 – 0 - 0 + 19% de Ca	3 gr/ litro de agua	Mejorar el color y nutrición de la planta	Riego al sustrato	Regar hasta humedecer bien el sustrato, después aplicar el producto y volver a regar suavemente para que el calcio llegue a la radícula del plantín y no quede en la superficie.
24 días después de la siembra	Fungicida Prevalor 84 SL	Fosetil aluminio + propomocarb	2 cc /litro de agua	Mal de talluelo, (Fusarium spp; Pythium spp; Rhizoctonia spp)	Riego al sustrato	

Después de hacer todo lo detallado en el cuadro 5 se obtuvo plantines con buen sistema radicular, tallos y hojas fuertes, sanas y sin problemas de elongación.






Figura 13. Plantines de tomate después del manejo en plantinero.

#### 4.2.3 Preparación del terreno

La preparación del terreno se detalla en el cuadro 6.





Cuadro 6. Preparación del terreno de siembra definitivo

<p>Lo primero que se hizo con el equipo de Vilmorin Mikado fue limpiar y construir las camas de siembra.</p>	
<p>Sobre las camas de siembra se colocaron varas de bambú como soporte para la actividad de tutorar y se instaló el sistema de riego por goteo.</p>	
<p>Se aplicó con una bomba de motor el insecticida Tryclan 50 SP en dosis de 1 cc por litro de agua en toda el área dentro de la casa Malla, para eliminar y controlar cualquier plaga que se pudiera encontrar dentro de la misma. La aplicación se hizo después de establecer las camas de siembra.</p>	
<p>Las plagas que controla Tryclan 50 SP son: mosca minadora, áfidos, trips, mosca blanca, minador de la hoja, enrollador de la hoja, falso medidor, gusano alfiler, gusano cachudo, polilla, salivazo, chinche arenosa, zogatas, gusano de la col, mariposa de la col, perforador de la hoja, caracol, hidrelia, chinche del grano, loritos verdes, cochinilla harinosa.</p>	

#### 4.2.4 Trasplante de plantines al terreno

El trasplante de plantines al terreno definitivo se detalla en el cuadro 7.

Cuadro 7. Trasplante de plantines al terreno definitivo.

<p>Un día antes del trasplante se aplicó el insecticida Muralla Delta 19 OD en dosis de 25 cc/ bomba de 20 litros, para controlar plagas como: Polilla del tomate, cochinilla de las hortalizas y mosca blanca.</p>	
<p>Se realizaron agujeros en el plástico mult a una distancia de 40 cm entre agujeros, donde iría cada plantín. El día del trasplante se aplicó riego a la cama de siembra y abundante agua a los plantines antes de sacarlos y ordenarlos por genotipo, se identificaron y pasaron a bandejas nuevas que iban a salir del plantinero. Se colocaron estacas para amarrar las viñetas de identificación.</p>	
<p>Los plantines se distribuyeron en el lugar donde iban a ser plantados de acuerdo a su genotipo, distribución de siembra y repetición. Otro grupo de personas venían sembrando los plantines.</p>	
<p>El mismo día de la siembra se aplicó el fungicida Banrot 40 WP en dosis de 0.75 gr/ litro de agua (aplicación vía drench), de manera preventiva para proteger los plantines de: Mal del talluelo (<i>Phytophthora</i> sp.), enfermedades de la raíz (<i>Fusarium</i> spp, <i>Phytophthora</i> sp, <i>Rhizoctonia</i> sp, <i>Thielaviopsis</i> sp y <i>Pythium</i>).</p>	
<p>La fertilización al suelo se realizó bajo el programa que maneja Vilmorin-Mikado, el cual se adapta a las</p>	

necesidades del cultivo de tomate descritas en el cuadro 3.

#### 4.2.5 Manejo fitosanitario del experimento

El manejo fitosanitario del experimento se detalla en el cuadro 8.

Cuadro 8. Manejo y programa fitosanitario del experimento.

Días después del trasplante (ddt)	Producto utilizado	Ingrediente activo	Dosis	Control
1 ddt	Insecticida Starkle 20 SG	Dinotefuran	0.75 gr/ litro	Mosca blanca
0 ddt	Fungicida Banrot 40 WP	Tiodiazol, carbamato, etridiazol, metil tiofanato	1 copa Bayer/ 10 litros de agua	Mal del talluelo ( <i>Phytophthora</i> sp), enfermedades de la raíz ( <i>Fusarium</i> spp, <i>Phytophthora</i> sp, <i>Rhizoctonia</i> sp, <i>Thielaviopsis</i> sp, y <i>Pythium</i> ).
2 ddt	Nematicida Solvigo 10,8 SC	36 abamectina, 72 tiametoxam	2 copas Bayer/ 10 litros de agua	Control de nematodos
3 ddt	Raizal 400	N-9, P-45, K-11 + auxinas	2.5 copas Bayer/ 10 litro de agua	Mejorar el crecimiento radicular.
7 ddt	Fungicida Cabrio team 18.7 WG	Dimetomirf 12% + piraclostrobin 6,7% [WG] p/p	3.75 gr/ litro de agua	Fungicida de amplio espectro
9 ddt	Fungicida Cabrio top WG	Metiram 550 g/ kg zinc ammoniate ethylenebis (dithiocarbamate) -poly (ethylenethiuram disulfide).	1 copa Bayer/ galón	Tizón temprano ( <i>Alternaria solani</i> )
13 ddt	Nematicida Solvigo 10,8 SC	36 abamectina, 72 tiametoxam	2 copas Bayer/ 10 litro de agua	Control de nematodos
14 ddt	Metalosate Calcio Metalosate Calcio Boro	Inicia aplicación de los tratamientos.		Los días martes por la mañana y viernes por la mañana se aplicó los tratamientos hasta el final de la vida productiva de la planta de tomate.
15 ddt	Fungicida Cabrio team 18.7 WG	Dimetomirf 12% + piraclostrobin 6,7% [WG] p/p	3.75 gr/ litro de agua	Fungicida de amplio espectro
20 ddt	Fungicida Cabrio team 18.7 WG	Dimetomirf 12% + piraclostrobin 6,7% [WG] p/p	3.75 gr/ litro de agua	Fungicida de amplio espectro

Todos los días de 7:00 am a 8:00 am se realizaron monitoreos de: plagas en busca de mosca blanca y hongos; del sistema de riego por goteo, si hay cavidades o agujeros en la malla donde puedan ingresar insectos.

#### 4.2.6 Aplicación de los productos en cada tratamiento

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. Todo se aplicó en las dosis que se presentan en el cuadro 11.

#### 4.2.7 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.

Todas las variables evaluadas fueron anotadas dos veces por semana en los siguientes formularios.

Cuadro 9. Formulario para toma de datos en el experimento 1 y 2.

0.5 L/H		FRUTOS COSECHADOS	FRUTOS COSECHADOS	FRUTOS COSECHADOS	FRUTOS COSECHADOS	FRUTOS COSECHADOS	FRUTOS POR PLANTA	TOTAL FRUTOS PARCELA	FRUTOS CON BLOSSOM	FRUTOS CON BLOSSOM	FRUTOS CON BLOSSOM	FRUTOS CON BLOSSOM	FRUTOS CON BLOSSOM	TOTAL/PA RCELA BLOSSOM
G 3	P1							0						0
	P2													
	P3													
	P4													
G 1	P1							0						0
	P2													
	P3													
	P4													
G 2	P1							0						0
	P2													
	P3													
	P4													

Cuadro 10. Formulario para toma de datos en el experimento 1 y 2.

EXPERIMENTO 1												
GENÓTIPO	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	FIRMEZA DEL FRUTO (lb.f./cm2)	PROMEDIO
0.5 L/H	R1											
EXPERIMENTO CA												
3												0
Peso/gr												0
1												0
Peso/gr												0
2												0
Peso/gr												0

### 4.3 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.

Según Gabriel *et. al* (2017), el diseño de bloques completos al azar es uno de los más utilizados en experimentación agrícola cuando el material experimental, campo agrícola, invernadero, otros, presentan una fuente de variabilidad conocida, factible de evaluar y logra disminuir el error experimental, lo que incrementa la precisión en la comparación entre tratamientos. Recibe este nombre porque el material experimental se fracciona en bloques o en estratos uniformes dentro de sí pero diferentes entre sí. Todos los tratamientos están presentes y distribuidos al azar en cada uno de los bloques. El número de repeticiones que se realicen en una investigación es importante pues estadísticamente a mayor cantidad de repeticiones menor será el error experimental. El número de repeticiones recomendado es entre 4 a 5 para diseños simples. Otro aspecto importante es la aleatorización de las repeticiones, pues tal acción permite acercar a la realidad la investigación.

Arguelles y Carvajal (2013) mencionan que un experimento bien realizado requiere que los tratamientos estén debidamente repetidos, es decir, deben existir varias unidades experimentales por tratamiento. Además, dicen que las funciones de las repeticiones son proveer un estimativo del error experimental, mejorar la precisión del experimento, aumentar el alcance de la inferencia del experimento y ejercer control sobre el error experimental.

### 4.3.1 Tamaño de la parcela y muestreos

Arning (2001) menciona que de cada parcela sólo se registran datos de un área neta, dejando los bordes a los lados, de un tamaño según la necesidad del ensayo. Esto depende del efecto vecinal, marginal, entre otras. En el caso de este experimento recomienda situar los lados largos de las parcelas a lo largo del terreno, en forma paralela al factor perturbador. La forma de las parcelas se define además por el objetivo de la investigación: en investigaciones de variedades, abonamiento, manejo de suelo o malezas, la forma rectangular suele ser la de más fácil manejo. En plantas de baja densidad de siembra deben ser mínimo 20 a 30 plantas dentro del área neta. En todo caso se necesita un mínimo de 20 a 30 datos por cada característica evaluada para eliminar la influencia individual de cada planta sobre el resultado total.

Debido al sistema de siembra y las instalaciones de la empresa en la cual se realizó el estudio, las plantas en estudio fueron 4 por unidad experimental, haciendo un total de 12 plantas por las 3 repeticiones realizadas por cada tratamiento, y como se llevó a cabo 2 veces el experimento fue de 24 plantas en total.

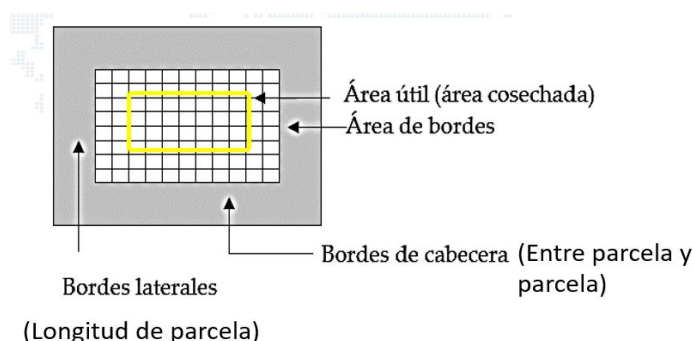


Figura 14. Área de muestreo en la parcela (Rodríguez 2021).

Según Arning (2001), se han desarrollado diferentes métodos de extracción o selección: 1) Completamente Randomizado, con el registro de un número adecuado de plantas, este método es el más ventajoso, pero como no se logra una real randomización sin planificarlo y detallarlo (haciendo sorteo para cada parcela) es trabajoso; 2) Método sistemático, evaluando cada tercera planta en cada segunda fila del área neta; se usa en parcelas grandes pero no garantiza una buena representatividad para los datos de toda la población; 3) Método de agrupación, en este se definen al azar puntos dentro de la parcela, alrededor de los cuales se

evalúan varias plantas. Se aplica en casos de difícil acceso a las plantas, pero es susceptible a la heterogeneidad dentro de la parcela.

#### 4.3.2 Tratamientos en estudio

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 11.

Cuadro 11. Tratamientos que se evaluaron en la investigación.

Tratamiento	Genotipo	Experimento 1	Experimento 2
<b>Testigo o Tratamiento 1 (T<sub>1</sub>)</b>	Línea G57 (G2), línea G36 (G3) y línea G segregante (GC).	Sin aplicación de calcio (D0).	Sin aplicación de calcio y boro (D0).
<b>Tratamiento 2 (T<sub>2</sub>)</b>	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).
<b>Tratamiento 3 (T<sub>3</sub>)</b>	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).
<b>Tratamiento 4 (T<sub>4</sub>)</b>	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).

La distribución espacial en campo de los tratamientos en estudio fue la siguiente:

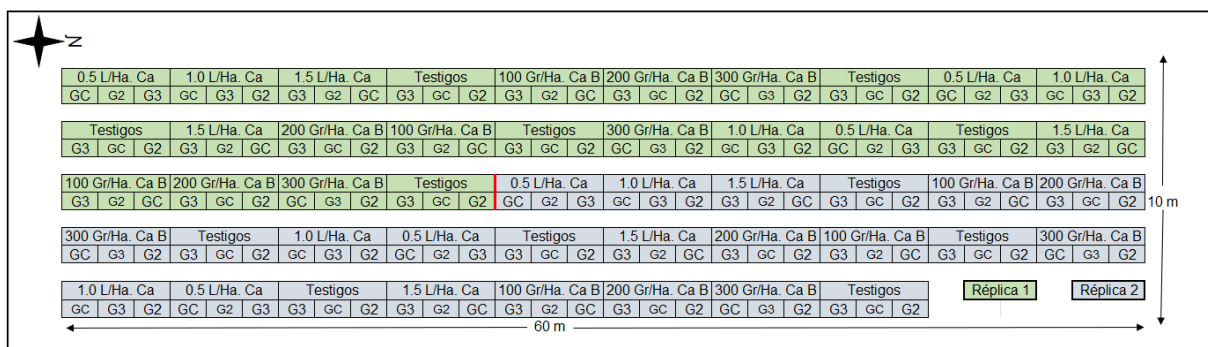


Figura 15. Distribución de los tratamientos en campo.

La unidad experimental consta de 4 plantas de tomate de cada una de las líneas genéticas evaluadas e identificadas con la simbología: línea G36 (G3), línea G57 (G2) y línea segregante (GC). En total fueron 288 plantas en cada réplica, evaluando en total 570 plantas de tomate en ambas réplicas. La unidad experimental es la siguiente:

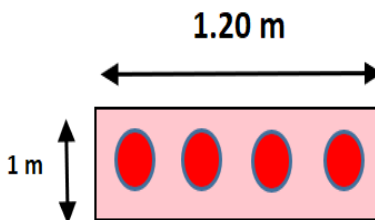


Figura 16. Unidad experimental.

Las variables que se evaluaron en la investigación fueron las siguientes:

- Firmeza de los frutos de tomate: se midió en libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>).
- Número total de frutos de tomate: se contó el número total de frutos por planta.
- Vida de anaquel: se contó el número de días que el fruto de tomate mantenía la firmeza a temperatura ambiente.

Para la organización, procesamiento y análisis estadístico de los datos se utilizaron métodos descriptivos univariados como representaciones gráficas, medidas de tendencia central y medidas de dispersión, e intervalos de confianza. A todas las variables cuantitativas se les aplicó el Análisis de Varianza (ANVA). Previo a la aplicación del diseño experimental se verificó que los datos cumplan con los supuestos del análisis de varianza: distribución normal y homogeneidad de varianzas (Rodríguez 2021).

Para verificar el supuesto de normalidad se aplicó las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro- Wilk, y en el caso de la homogeneidad de varianzas se ejecutó el test de Levene.

#### **4.3.3 Modelo estadístico**

La investigación se realizó bajo un Diseño factorial de bloques completamente al azar (DBCA). Según Dex Corcopia (2013), el modelo estadístico del diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + \delta_{ij} + B_k + (A*B)_{jk} + e_{ijk}$$

Dónde:

$i = 1, 2, \dots, "r"$ . Con "r" como el número de repeticiones o bloques.

$j = 1, 2, \dots, "a"$ . Con "a" como el número de niveles o modalidades del factor asignado a las parcelas principales (A).

$k = 1, 2, \dots, "b"$ . Con "b" como el número de niveles o modalidades asignado a las subparcelas (B).

$Y_{ijk}$  = Variable aleatoria observada.

La importancia de los arreglos factoriales radica en que se pueden evaluar simultáneamente los efectos de dos o más factores y sus interacciones. La interacción se define como el hecho de que la diferencia en la respuesta a los niveles o modalidades de un factor sea igual o diferente a los demás niveles del otro factor; se puede clasificar en tres categorías: 1) La no interacción, que ocurre cuando los factores bajo estudio son independientes entre sí, es decir, cuando los efectos de un factor son los mismos para todos los niveles de los otros factores, siendo la variación observada solo producto del azar; 2) La interacción ocurre cuando los efectos de un factor no son los mismos para todos los niveles de los otros factores; y 3) la interacción se puede manifestar de dos formas: interacción de escala e interacción de dirección (Dex Corcopia 2013).

#### **4.3.4 Análisis de varianza**

El cuadro del análisis de varianza (ANAVA) posee las fuentes de variación correspondiente al diseño experimental utilizado (bloques, en este caso), más las fuentes de variación relacionadas con cada uno de los factores involucrados en el experimento (pueden ser dos o más factores) y sus interacciones (Dex Corcopia 2013).

Cuadro 12. Análisis de varianza de un diseño factorial con arreglo de bloques completamente al azar.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Bloques	r-1	$\sum_i y_{i..}^2 / ab - FC$	SCR/(r-1)	CMR/CME
Factor A	a-1	$\sum_j y_{.j.}^2 / br - FC$	SCA/(a-1)	CMA/CME
Factor B	b-1	$\sum_k y_{..k}^2 / ar - FC$	SCB/(b-1)	CMB/CME
A*B	(a-1)(b-1)	$\sum_j \sum_k y_{.jk}^2 / r - FC - SCA - SCB$	SCA*B/(a-1)(b-1)	CMA*B/CME
Error	(ab-1)(r-1)	Diferencia	SCE/(ab-1)(r-1)	
<b>Total</b>	<b>abr-1</b>	$\sum_i \sum_j \sum_k y_{ijk}^2 - FC$		

Fuente: Dex Corpia (2013).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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. A continuación, se presentan los resultados del primer experimento:

### Experimento 1

#### 5.1. Firmeza de frutos

En las dos réplicas del experimento 1 los genotipos de tomate no presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto; sin embargo, el genotipo G3 (Línea G36) obtuvo la mayor firmeza con un promedio de 6.43 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) en la réplica 1 y 6.06 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) en la réplica 2 (cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en la firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

*FA (Genotipo)	Variable	*Media	*D.E.	*E.E.	*CV	*R <sup>2</sup>	*p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
GC (Línea Segregante)		6.04	1	0.29	16.49		
G2 (Línea G 57)	Firmeza del fruto	6.25	0.72	0.21	11.58	0.16	0.4953
G3 (Línea G 36)		6.43	0.78	0.22	12.1		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
GC (Línea Segregante)		5.54	1.16	0.33	20.84		
G2 (Línea G57)	Firmeza del fruto	5.62	1.27	0.37	22.58	0.06	0.5222
G3 (Línea G36)		6.06	1.02	0.3	16.88		

\*FA: factor (A) Genotipos; \*D.E.: desviación estándar; \*E.E.: error experimental; \*CV: coeficiente de variación; \*R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; \*P-valor: valor de probabilidad.

En las dos réplicas del experimento 1, las dosis de calcio presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto, ya que con la dosis 3 (foliar enriquecido con calcio en dosis de 1.5 lt.ha<sup>-1</sup>) se obtuvo la mayor firmeza con un promedio de 6.98 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) en la réplica 1 y 6.68 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) en la réplica 2 (cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en la firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

FB (Dosis de calcio)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
D0 (Sin calcio)	Firmeza del fruto	5.26	0.58	0.19	11.04	0.73	<0.0001
D1 (0.5 lt.ha-1)		6.12	0.26	0.09	4.25		
D2 (1 lt.ha-1)		6.60	0.72	0.24	10.91		
D3 (1.5 lt.ha-1)		6.98	0.51	0.17	7.27		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
D0 (Sin calcio)	Firmeza del fruto	4.05	0.67	0.22	16.62	0.85	<0.0001
D1 (0.5 lt.ha-1)		5.81	0.45	0.15	7.78		
D2 (1 lt.ha-1)		6.42	0.33	0.11	5.09		
D3 (1.5 lt.ha-1)		6.68	0.48	0.16	7.22		

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, dosis 3 (solución enriquecida con calcio 1.5 lt.ha<sup>-1</sup>)), reporto la mayor firmeza con un promedio de 7.14 (lb.f./cm<sup>2</sup>) (figura 17) (cuadro 15).

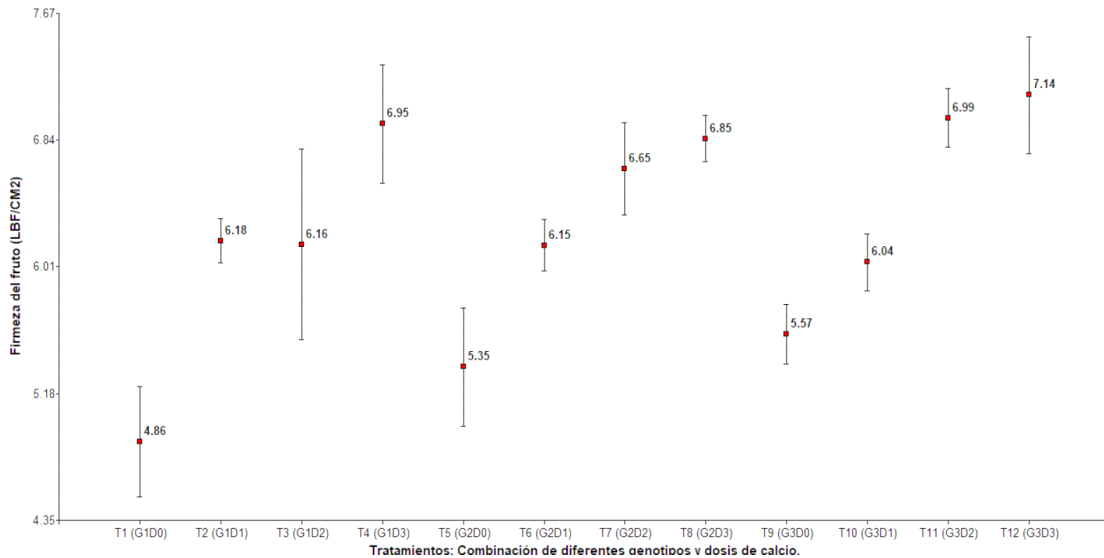


Figura 17. Experimento 1, réplica 1, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio en la firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

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, dosis 3 (solución enriquecida con calcio 1.5 lt.ha<sup>-1</sup>)), reporto la mayor firmeza con un promedio de 7.24 (lb.f./cm<sup>2</sup>) (figura 18) (cuadro 15).

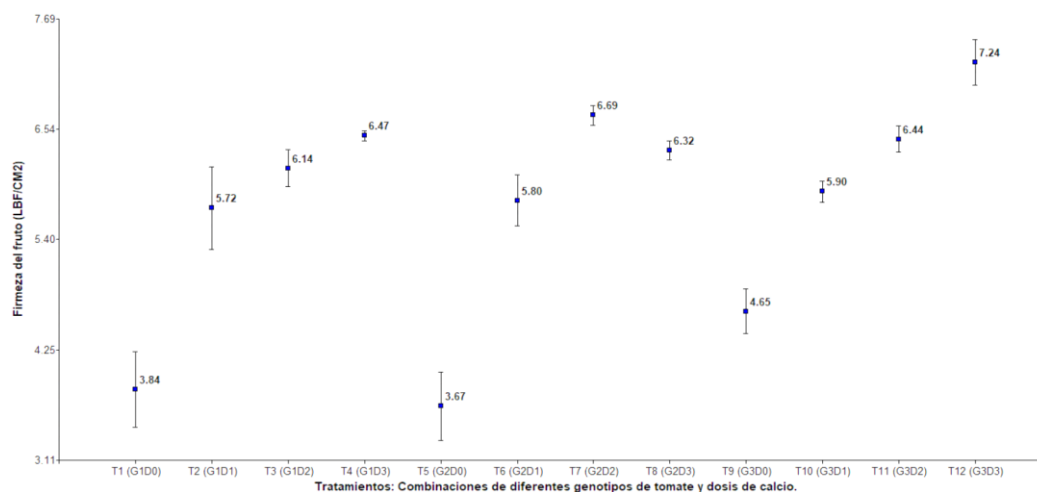


Figura 18. Experimento 1, réplica 2, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio en la firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

Cuadro 15. Análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio 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
<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)	Firmeza del fruto	3.84	0.68	0.39	17.61	0.93	<0.0001
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)		5.72	0.74	0.43	12.98		
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		

Según YARA (2024b), 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 que 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.

## 5.2. Pudrición apical del fruto (blossom)

En las dos réplicas del experimento 1 los genotipos de tomate no presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos con pudrición apical; sin embargo, en la réplica 1 el genotipo 2 (G57) no produjo frutos con pudrición apical; y en la réplica 2 el genotipo 2 (G57) y genotipo 3 (G36) no produjeron frutos con pudrición apical (cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en la pudrición apical.

FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
GC (Línea Segregante)	Frutos con Blossom	0.74	0.535	0.15	71.18	0.39	0.0006
G2 (línea G57)		0	0	0	sd		
G3 (36)		0.53	0.5	0.15	95.92		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
GC (Segregante)	Frutos con Blossom	0.37	0.51	0.15	138.63	0.28	0.0067
G2 (57)		0	0	0	Sd		
G3 (36)		0	0	0	Sd		

En las dos réplicas del experimento 1 las dosis de calcio no presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos de tomate con pudrición apical; sin embargo, en la réplica 1 la dosis 1 (0.5 lt.ha<sup>-1</sup>) produjo la menor cantidad de frutos con pudrición apical con un promedio de 0.22 frutos; y en la réplica 2 la dosis 2 (1 lt.ha<sup>-1</sup>) no produjo frutos con pudrición apical (cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en la pudrición apical del tomate.

FB (Dosis de calcio)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
D0 (Sin calcio)	Frutos con Blossom	0.77	0.75	0.25	96.6	0.39	0.0006
D1 (0.5 lt.ha-1)		0.22	0.35	0.12	158.02		
D2 (1 lt.ha-1)		0.32	0.38	0.13	119.68		
D3 (1.5 lt.ha-1)		0.38	0.39	0.13	101.56		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
FB (Dosis de calcio)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
D0 (Sin calcio)	Frutos con Blossom	0.39	0.59	0.2	150.78	0.22	0.0602
D1 (0.5 lt.ha-1)		0.05	0.16	0.05	300		
D2 (1 lt.ha-1)		0	0	0	Sd		
D3 (1.5 lt.ha-1)		0.05	0.16	0.05	300		

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 dosis 0, solución enriquecida con calcio (0 lt.ha-1), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2, dosis 1 solución enriquecida con calcio (0.5 lt.ha-1)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2, dosis 2 solución enriquecida con calcio (1 lt.ha-1)) y tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2, dosis 3 solución enriquecida con calcio (1.5 lt.ha-1)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (figura 19) (cuadro 18).

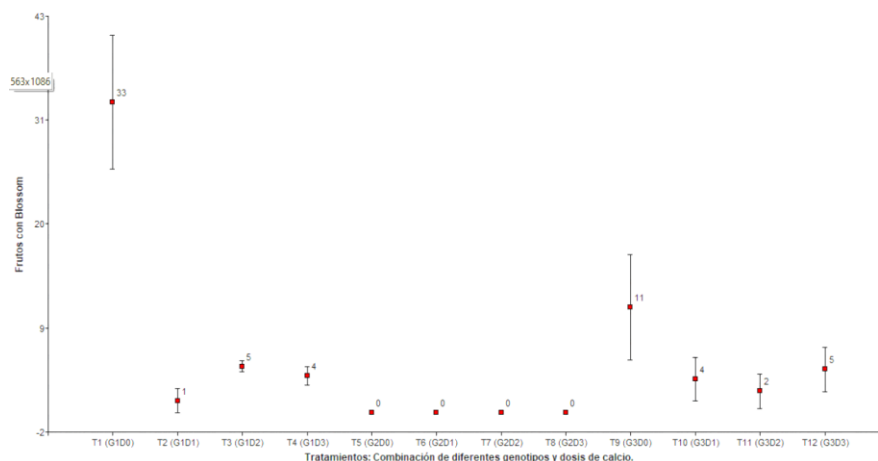


Figura 19. Experimento 1, réplica 1, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio con la pudrición apical.

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, dosis 1 solución enriquecida con calcio (0.5 lt.ha-1)), tratamiento 11 G3D2 (genotipo 3, dosis 2 solución enriquecida con calcio (1 lt.ha-1)), tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3, dosis 3 solución enriquecida con calcio (1.5 lt.ha-1)), tratamiento 3 G1D2 (genotipo 1 (línea segregante o GC), dosis 2 solución enriquecida con calcio (1 lt.ha-1)), tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2, dosis 0 solución enriquecida con calcio (0 lt.ha-1)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2, dosis 1 solución enriquecida con calcio (0.5 lt.ha-1)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2, dosis 2 solución enriquecida con calcio (1 lt.ha-1)), tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2, dosis 3 solución enriquecida con calcio (1.5 lt.ha-1)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (figura 20) (cuadro 18).

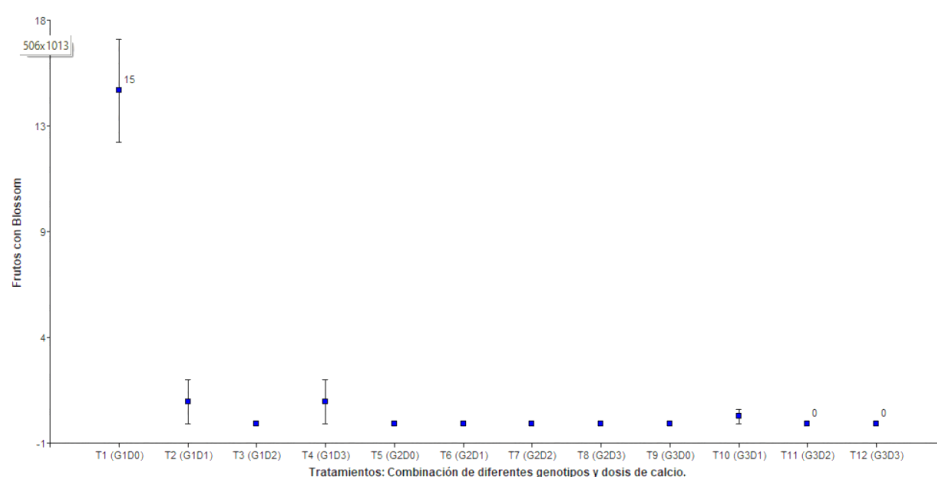


Figura 20. Experimento 1, réplica 2, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio con la pudrición apical.

Cuadro 18. 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
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
T1 (G1D0)		1.50	0.19	0.11	12.71		
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)	Frutos con Blossom	0.69	0.09	0.05	12.73	0.73	0.0005
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)		1.17	0.12	0.07	10.21		
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)	Frutos con Blossom	0	0	0	Sd	0.92	<0.0001
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 (2024c), 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.

### 5.3. Número total de frutos

En las dos réplicas del experimento 1 los genotipos de tomate no presentaron diferencias significativas en el número de frutos; sin embargo, el genotipo 1 (Línea segregante o GC) reportó la mayor cantidad de frutos con una media de 231.75 frutos en la réplica 1 y 226.25 frutos en la réplica 2 (cuadro 19).

Cuadro 19. Análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en el número total de frutos.

FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
G1 (línea Segregante)	Número total de frutos	231.75	33.62	9.71	14.51	0.23	0.1276
G2 (57)		225.00	25.06	7.23	11.14		
G3 (36)		203.58	45.62	13.17	22.41		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
G1 (Segregante)	Número t total de frutos	226.25	24.61	7.1	10.88	0.15	0.2181
G2 (57)		217.75	19.84	5.73	9.11		
G3 (36)		193.33	75.1	21.68	38.84		

En las dos réplicas del experimento 1 las dosis de calcio no presentaron diferencias significativas en el número de frutos; sin embargo, la dosis 1 D1 (0.5 lt.ha-1) reporto la mayor cantidad de frutos con un promedio de 230.67 frutos en la réplica 1 y 221 frutos en la réplica 2 (cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio en el número total de frutos de tomate.

FB (Dosis de calcio)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
D0 (Sin calcio)	Número total de frutos	220.89	24.41	8.14	11.05	0.17	0.6203
D1 (0.5 lt.ha-1)		230.67	38.16	12.72	16.54		
D2 (1 lt.ha-1)		221.00	29.48	9.83	13.34		
D3 (1.5 lt.ha-1)		207.89	52.08	17.36	25.05		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
FB (Dosis de calcio)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
D0 (Sin calcio)	Número total de frutos	205.67	35.1	11.7	17.07	0.08	0.925
D1 (0.5 lt.ha-1)		221.00	67.82	22.61	30.69		
D2 (1 lt.ha-1)		209.67	50.08	16.69	23.89		
D3 (1.5 lt.ha-1)		213.44	38.99	13	18.27		

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; sin embargo, el tratamiento 2 G1D1 (línea segregante o GC, con dosis 1 solución enriquecida con (0.5 lt.ha<sup>-1</sup>)) reporto el mayor número de frutos con un promedio de 255 frutos (figura 21) (cuadro 21).

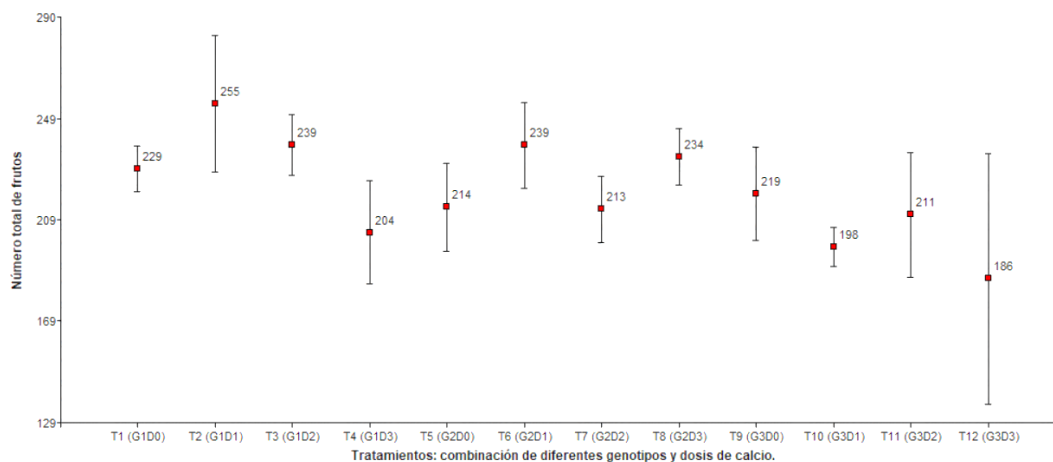


Figura 21. Experimento 1, réplica 1, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio en el número total de frutos.

En la segunda réplica del experimento 1 los tratamientos combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio no presentaron diferencias significativas en el número de frutos. El tratamiento 2 G1D1 (línea segregante o GC, con dosis 1 solución enriquecida con (0.5 lt.ha<sup>-1</sup>)) y el tratamiento 3 G1D2 (línea segregante o GC, con dosis 2 solución enriquecida con (1 lt.ha<sup>-1</sup>)), obtuvieron el mayor número de frutos con un promedio de 234 frutos (figura 22) (cuadro 21).

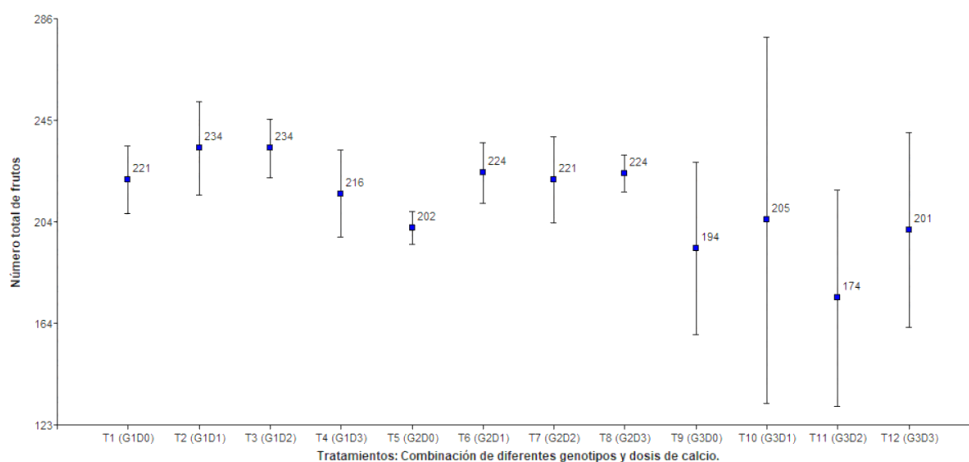


Figura 22. Experimento 1, réplica 2, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio en el número total de frutos.

Cuadro 21. 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
<b>Experimento 1. Réplica 1.</b>							
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		
<b>Experimento 1. Réplica 2.</b>							
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 (2024c), 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.

## Experimento 2

### 5.4. Firmeza de frutos

En las dos réplicas del experimento 2 los genotipos de tomate no presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto; sin embargo, el genotipo 3 (G36) reportó la mayor firmeza con un promedio de 6.91 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) en la réplica 1; y 6.44 lb.f./cm<sup>2</sup> en la réplica 2 (cuadro 22).

Cuadro 22. Análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en la firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
G1 (línea Segregante)	Firmeza del fruto	6.43	1.16	0.33	17.99	0.12	0.2999
G2 (línea 57)		6.17	1.13	0.33	18.28		
G3 (línea 36)		6.91	1.16	0.34	16.87		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
G1 (línea Segregante)	Firmeza del fruto	5.66	1.53	0.44	26.94	0.07	0.3709
G2 (línea 57)		5.73	1.58	0.46	27.67		
G3 (línea 36)		6.44	1.15	0.33	17.92		

En las dos réplicas del experimento 2 las dosis de calcio-boro presentaron diferencias significativas en la firmeza del fruto. La dosis 3 (300 g.ha<sup>-1</sup>) obtuvo la mayor firmeza con un

promedio de 7.32 libras fuerza/cm<sup>2</sup> (lb.f./cm<sup>2</sup>) en la réplica 1; y 7.30 lb.f./cm<sup>2</sup> en la réplica 2 (cuadro 23).

Cuadro 23. Análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio y boro en la firmeza del fruto (lb.f./cm<sup>2</sup>).

FB (Dosis de calcio y boro)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
D0 (Sin calcio)	Firmeza del fruto	4.81	0.76	0.25	15.85	0.83	<0.0001
D1 (100 g.ha-1)		6.66	0.44	0.15	6.6		
D2 (200 g.ha-1)		7.22	0.52	0.17	7.22		
D3 (300 g.ha-1)		7.32	0.5	0.17	6.83		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
FB (Dosis de calcio y boro)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
D0 (Sin calcio)	Firmeza del fruto	3.86	0.85	0.28	21.89	0.84	<0.0001
D1 (100 g.ha-1)		5.95	0.39	0.13	6.59		
D2 (200 g.ha-1)		6.66	0.62	0.21	9.32		
D3 (300 g.ha-1)		7.30	0.53	0.18	7.21		

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, 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>) (figura 23) (cuadro 24).

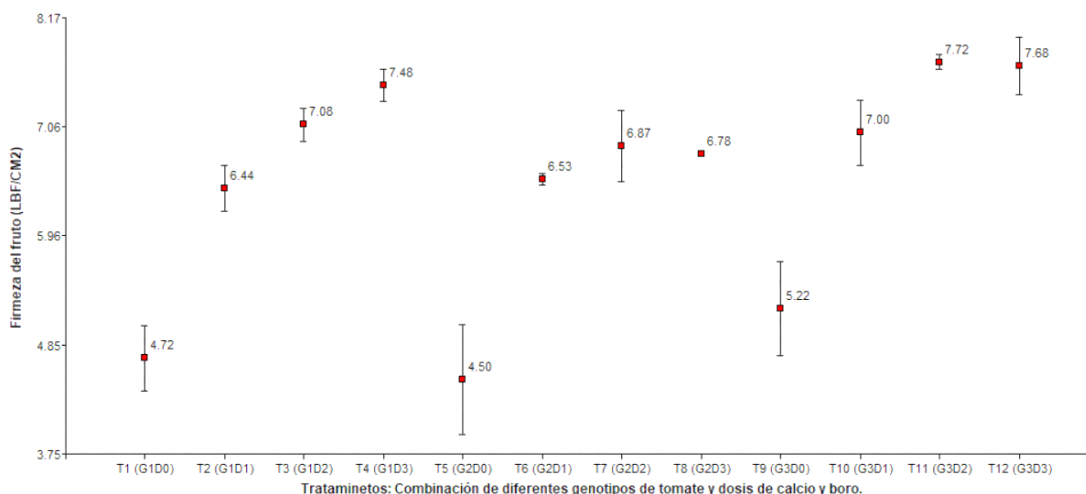


Figura 23. Experimento 2, réplica 1, efecto de la combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio-boro en la firmeza del fruto (lb.f./ cm<sup>2</sup>).

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, dosis 3 solución enriquecida con calcio y boro (300 g.ha<sup>-1</sup>)), reporto la mayor firmeza con un promedio de 7.72 (lb.f./cm<sup>2</sup>) (figura 24) (cuadro 24).

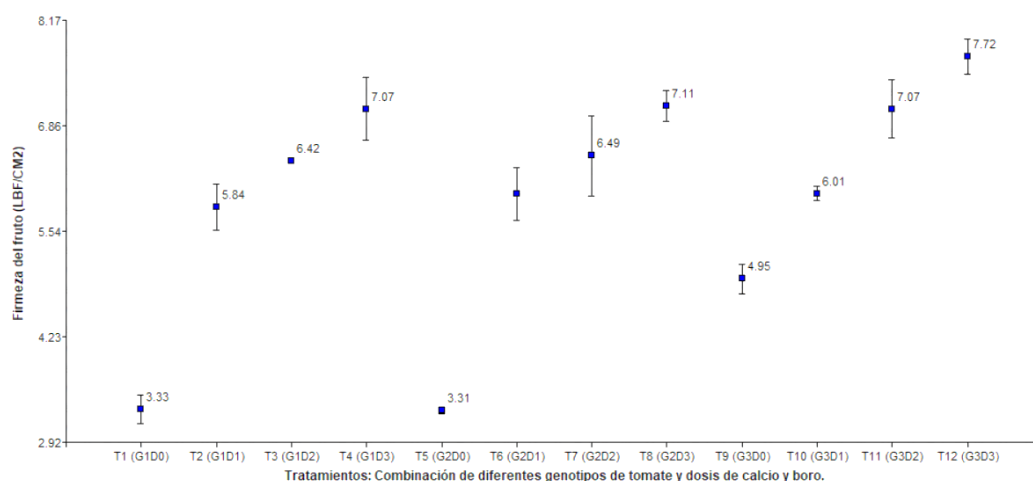


Figura 24. Experimento 2, réplica 2, efecto de la combinación de genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio-boro en la firmeza del fruto (lb.f./ cm<sup>2</sup>).

Cuadro 24. 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
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
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		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
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.

### 5.5. Pudrición apical del fruto

En las dos réplicas del experimento 2 los genotipos de tomate no presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos con pudrición apical; sin embargo, el tratamiento G2 (Línea G57) no presento frutos de tomate con pudrición apical (cuadro 25).

Cuadro 25. Análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en la pudrición apical del tomate.

FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
G1 (línea Segregante)		0.64	0.62	0.18	96.89		
G2 (línea 57)	Frutos con Blossom	0	0	0	Sd	0.32	0.0037
G3 (línea 36)		0.4	0.4	0.12	100.37		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
G1 (línea Segregante)		0.58	0.57	0.17	98.6		
G2 (línea 57)	Frutos con Blossom	0	0	0	Sd	0.33	0.0026
G3 (línea 36)		0.18	0.31	0.09	167.77		

En las dos réplicas del experimento 2 las dosis de calcio y boro no presentaron diferencias significativas en la presencia de frutos con pudrición apical; sin embargo, en la réplica 1 el

tratamiento D2 (200 g.ha<sup>-1</sup>) presento el menor número de frutos de tomate con pudrición apical con 0.07 frutos; y en la réplica 2 el tratamiento D1 (100 g.ha<sup>-1</sup>) presento el menor número de frutos de tomate con pudrición apical con 0.09 frutos (cuadro 26).

Cuadro 26. Análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio y boro en pudrición apical del tomate.

FB (Dosis de calcio y boro)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
D0 (Sin calcio)		0.77	0.64	0.21	82.21		
D1 (100 g.ha <sup>-1</sup> )	Frutos con Blossom	0.21	0.35	0.12	165.27	0.33	0.011
D2 (200 g.ha <sup>-1</sup> )		0.07	0.2	0.07	300		
D3 (300 g.ha <sup>-1</sup> )		0.32	0.41	0.14	126.49		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
FB (Dosis de calcio y boro)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
D0 (Sin calcio)		0.60	0.64	0.21	107.13		
D1 (100 g.ha <sup>-1</sup> )	Frutos con Blossom	0.09	0.26	0.09	300	0.23	0.0604
D2 (200 g.ha <sup>-1</sup> )		0.19	0.32	0.11	171.36		
D3 (300 g.ha <sup>-1</sup> )		0.15	0.31	0.1	200.5		

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>), tratamiento 5 G2D0 (genotipo 2, dosis 0 (0 g.ha<sup>-1</sup>), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2, dosis 1 (100 g.ha<sup>-1</sup>), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2, dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup>), y el tratamiento 8 G2D3 (genotipo 2, dosis 3 (300 g.ha<sup>-1</sup>), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (figura 25) (cuadro 27).

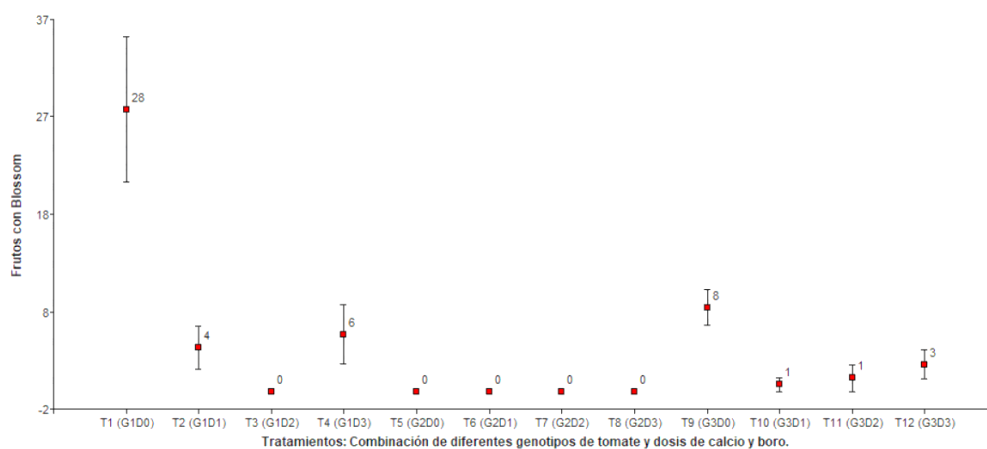


Figura 25. Experimento 2, réplica 1, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro en la presencia de pudrición apical.

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, dosis 0 (0 g.ha<sup>-1</sup>)), tratamiento 6 G2D1 (genotipo 2 y dosis 1 (100 g.ha<sup>-1</sup>)), tratamiento 7 G2D2 (genotipo 2 y dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup>)), tratamiento 8 G2D2 (genotipo 2 y dosis 2 (200 g.ha<sup>-1</sup>)), tratamiento 10 G3D1 (genotipo 3 y dosis 1 (100 g.ha<sup>-1</sup>)), y el tratamiento 12 G3D3 (genotipo 3 y dosis 3 (300 g.ha<sup>-1</sup>)), no presentaron frutos de tomate con pudrición apical (figura 26) (cuadro 27).

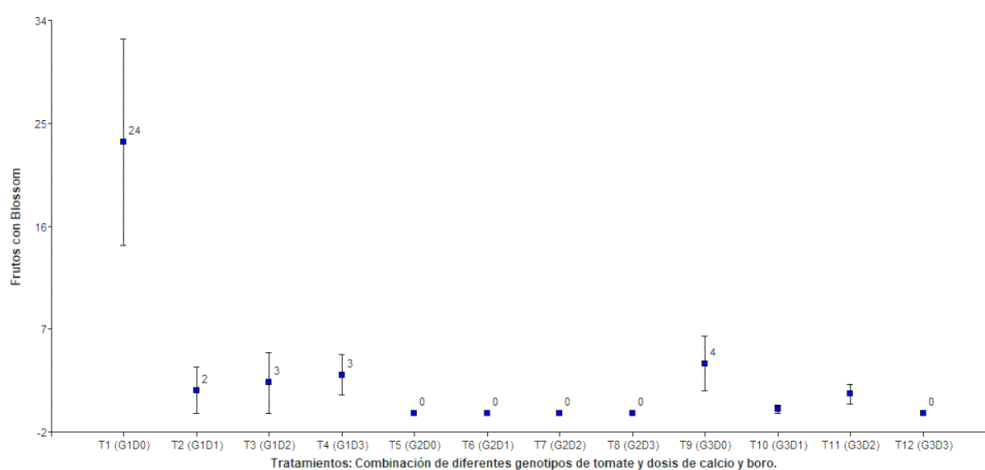


Figura 26. Experimento 2, réplica 2, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro en la presencia de pudrición apical.

Cuadro 27. 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
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
T1 (G1D0)		1.42	0.19	0.11	13.18		
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)	Frutos con Blossom	0	0	0	Sd	0.83	<0.0001
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		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
Tratamientos	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor

T1 (G1D0)		1.31	0.29	0.17	21.9		
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)	Frutos con Blossom	0.30	0.52	0.3	173.21	0.72	0.0006
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.

### 5.6. Número total de frutos

En las dos réplicas del experimento 2 los genotipos de tomate no presentaron diferencias significativas en el número total de frutos; sin embargo, el genotipo 1 G1 (línea segregante o GC) reportó la mayor cantidad de frutos con un promedio de 228.67 frutos en la réplica 1; y 241.58 frutos en la réplica 2 (cuadro 28).

Cuadro 28. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes genotipos de tomate en el número de frutos de tomate.

FA (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
G1 (Segregante)	Número total de frutos	228.67	32.17	9.29	14.07	0.15	20.98
G2 (57)		214.25	30.09	8.69	14.04		
G3 (36)		192.50	62.13	17.93	32.27		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
G1 (Segregante)	Número total de frutos	241.58	42.15	12.17	17.45	0.36	21.09
G2 (57)		229.83	41.16	11.88	17.91		
G3 (36)		176.17	54.26	15.66	30.8		

En las dos réplicas del experimento 2 las dosis de calcio-boro no presentaron diferencias significativas en el número total de frutos; sin embargo, la dosis 3 D3 (300 gr.ha<sup>-1</sup>) reporto la mayor cantidad de frutos con un promedio de 227.44 frutos en la réplica 1 y 225.89 frutos en la réplica 2 (cuadro 26).

Cuadro 29. Descriptivos y análisis de varianza del efecto de diferentes dosis de calcio y boro en el número total de frutos de tomate.

FB (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
D0 (Sin calcio)	Número total de frutos	220.89	35.28	11.76	15.97	0.12	21.69
D1 (100 g.ha-1)		202.67	45.55	15.18	22.48		
D2 (200 g.ha-1)		196.22	58.54	19.51	29.83		
D3 (300 g.ha-1)		227.44	38.58	12.86	16.96		
FB (Genotipo)	Variable	Media	D.E.	E.E.	CV	R <sup>2</sup>	p-valor
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
D0 (Sin calcio)	Número total de frutos	216.00	60.06	20.02	27.8	0.08	25.57
D1 (100 g.ha-1)		204.89	32.2	10.73	15.71		
D2 (200 g.ha-1)		216.67	45.67	15.22	21.08		
D3 (300 g.ha-1)		225.89	74.09	24.7	32.8		

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>), obtuvo el mayor número de frutos con un promedio de 252.33 frutos (figura 27) (cuadro 30).

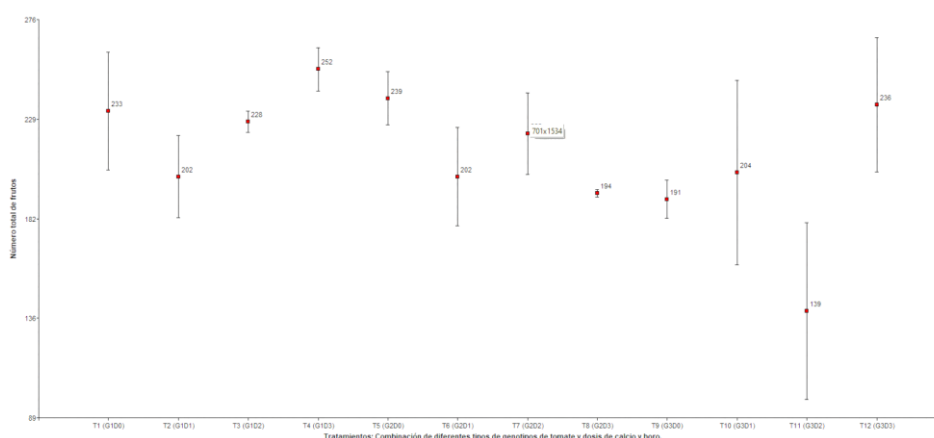


Figura 27. Experimento 2, réplica 2, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro en el número total de frutos.

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>), obtuvo el mayor número de frutos con un promedio de 272.33 frutos (figura 28) (cuadro 30).

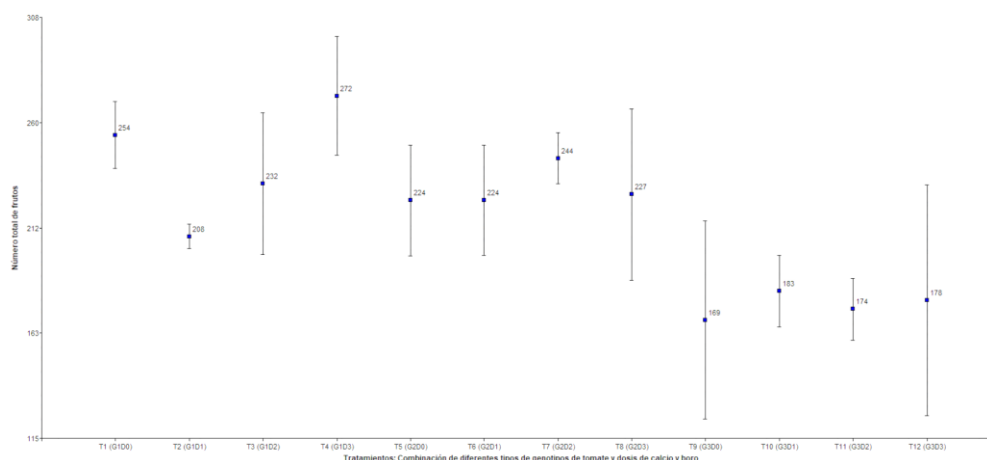


Figura 28. Experimento 2, réplica 2, análisis de varianza del efecto de los genotipos de tomate y diferentes dosis de calcio y boro en el número total de frutos.

Cuadro 30. 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
<b>Experimento 2. Réplica 1.</b>							
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)		<b>252.33</b>	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		
<b>Experimento 2. Réplica 2.</b>							
T1 (G1D0)	Número total de frutos	254.33	26.54	15.32	10.43	0.44	23.39
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)	224.33	43.94	25.37	19.58
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 (2024d) 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.

## 6. CONCLUSIONES

La pudrición apical es una fisiopatía vegetal que se presenta en las plantas de tomate por el debilitamiento de la pared celular por falta de calcio en los órganos con mayor división celular, en la cual también influye la disponibilidad de boro.

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  $0.5 \text{ lt. ha}^{-1}$ , 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  $200 \text{ g. ha}^{-1}$ , con la cual no hubo ningún fruto con este daño.

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

Frutos de tomate con una firmeza de  $7.72 \text{ lb.f./cm}^2$  tienen una pared celular más resistente y mayor vida de anaquel, en comparación a un fruto de tomate con una firmeza de  $7.24 \text{ lb.f./cm}^2$ .

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  $300 \text{ g. ha}^{-1}$ , 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  $0.5 \text{ lt. ha}^{-1}$ .

Los materiales genéticos de tomate evaluados (línea segregante, línea genética G57 -G2- y línea genética G36 -G3-) que no se les aplicó soluciones enriquecidas con calcio, y con calcio y boro, presentaron mayor presencia de la fisiopatía de pudrición apical; en comparación a los mismos materiales, pero con aplicación de esas soluciones.

La línea genética de tomate 57 o G57 fue la más resistente a la fisiopatía de pudrición apical.

La aplicación una vez por semana de soluciones enriquecidas con calcio y boro en el cultivo de tomate fortalece la pared celular de los frutos, evitando la pudrición apical y mejorando su firmeza, lo cual se refleja en una mayor vida de anaquel.

En el cultivo de tomate el calcio ayuda a dar firmeza a la pared celular y contribuye a fijar el fruto a la base del peciolo, lo cual evita la pérdida de frutos.

El boro aumenta el vigor del polen, produce semillas con embriones con mayor tasa de germinación, es fundamental para el desarrollo de las flores, el cuajado de los frutos y facilita la absorción y transporte del calcio dentro de la planta, mejorando la estructura y división celular, especialmente en las paredes celulares.

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.

## 7. 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.

Hacer muestreo y análisis foliar en el cultivo de tomate para conocer la disponibilidad de nutrientes como el calcio y boro 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  $200 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$  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.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A; Molina, C. 2007. Desempeño del boro en las plantas (en línea). Revista Científica UDO Agrícola. 7(1):1-14 p. Consultado 24 dic 2021. Disponible en <https://www.bioline.org.br/request?cg07002>
- AgroLógica. 2012. Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: síntomas y corrección (en línea). Valencia, España. Consultado 22 ene 2022. Disponible en <https://blog.agrologica.es/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. 2014. Noticias de Nutrición Vegetal (en línea). Yuta, Estados Unidos de América. 4 p. Consultado 20 dic 2021. Disponible en <https://www.bioagrolat.com/archivos/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Deficiencias-de-Calcio-y-Metalosate-Calcio.pdf>
- Arguelles, JH; Carvajal, GH. 2013. Estadística y diseño de experimentos: Aplicaciones prácticas para diseño de experimentos en sistemas agropecuarios. Recuperado de <https://repository.Agr.>
- Arning, J. 2001. Guía metodológica para investigadores agrícolas. Introducción práctica a la investigación participativa e investigación científica. RAAA. Lima, Perú. 152 p. Consultado 24 dic 2021. Disponible en [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172622162009000100006&script=sci\\_arttext&tIng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172622162009000100006&script=sci_arttext&tIng=en)
- Barquero, G. 1999. Clasificación de los quelatos: consideraciones prácticas. San José, Costa Rica. s. e. 357 p. Consultado 20 dic 2021. Disponible en <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a50-6907-III-p357.pdf>
- Bataller Gómez, V. 2014. El calcio y su asimilación por parte de las plantas (en línea). Murcia, España. Consultado 1 ene 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4813146>.

- Bio-AGROLAT. 2018. Metalosate®: Fertilizantes Foliares Quelados con Aminoácidos. San Salvador, El Salvador. 28 p. Consultado 3 ene 2022. Disponible en <https://www.bioagrolat.com/MetalosateBook/>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Alvares Córdova”, El Salvador). 2018. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (en línea). La libertad, El Salvador. 48 p. Consultado 12 dic 2021. Disponible en <https://www.scribd.com/document/467074552/Guia-Centa-Tomate-2019-pdf>
- Delgado, G. 2010. Los recursos naturales: tipologías, usos y comercialización (en línea). África. 5 p. Consultado 24 dic 2021. Disponible en <https://www.personales.ulpgc.es/gdelgado.dgeo/Africa/content/DEA-RN-Ficha-T1.pdf>
- Dex Corcopia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2013. Aplicaciones prácticas para diseño de experimentos en sistemas agropecuarios tropicales (en línea). Bogotá, Colombia. 53 p. Consultado 24 dic 2021. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34828>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Roma, Italia. s. e. 20 p. Consultado 24 dic 2021. Disponible en <https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s04.htm>
- Gabriel, J; Castro, C; Valverde, A; Indacoche, B. 2017. Diseños Experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. (en línea). Guayaquil, Ecuador. Consultado 24 dic 2021. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/315098225\\_Disenos\\_experimentales\\_Teoria\\_y\\_practica\\_para\\_experimentos\\_Agropecuarios/links/58ca1045458515e9298a0d6e/Disenos-experimentales-Teoria-y-practica-para-experimentos-Agropecuarios.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/315098225_Disenos_experimentales_Teoria_y_practica_para_experimentos_Agropecuarios/links/58ca1045458515e9298a0d6e/Disenos-experimentales-Teoria-y-practica-para-experimentos-Agropecuarios.pdf)
- GRN (Gestión en Recursos Naturales, Chile). 2016. Recursos Naturales (en línea). Santiago de Chile, Chile. Consultado 24 dic 2021. Disponible en <https://www.grn.cl/recursos-naturales.html>

- Guzmán, JM; Gálvez, JL. 2004. Fertirriego: tecnologías y programación en agroplasticultura. 1<sup>ed</sup>. Madrid, España. CYTED. 311 p. Consultado 12 dic 2021. Disponible en <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3129/FERTIRRIEGO2004.pdf>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Nicaragua). 2016. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) (en línea). San José, Costa Rica. 130 p. Consultado 12 dic 2021. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- INTAGRI s.c. (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, México). 2015. Manejo de Pudrición apical End Rot en Tomate (en línea). Guanajuato, México. Consultado 10 feb 2022. Disponible en [https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/Manejo blossom-End-Rot-Tomate](https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/Manejo_blossom-End-Rot-Tomate).
- Lazcano, I. 2000. Deficiencia de calcio en tomate (*Lycopersicum esculentum* L) (en línea). Quito, Colombia. Consultado 26 ene 2022. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-ahp.nsf/0/D43957A4CDBED019852579A30079A3CA/\\$FILE/Inf-Agro39.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-ahp.nsf/0/D43957A4CDBED019852579A30079A3CA/$FILE/Inf-Agro39.pdf)
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador) y DGEA (Dirección General de Economía Agropecuaria, El Salvador). 2015. Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2014-2015 (en línea). San Salvador, El Salvador. 72 p. Consultado 28 ene 2022. Disponible en <https://es.scribd.com/document/353000009/anuario-de-estadisticas-agropecuarias-2014-2015-pdf>
- Pérez, M. 2002. Principios básicos de la olericultura (en línea). San Salvador, El Salvador. 363 p. Consultado 28 ene 2022. Disponible en <http://sb.ues.edu.sv/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=195109>

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos). 2021. Objetivo 2: Hambre cero (en línea). Nueva York, Estados Unidos. Consultado 24 dic 2021. Disponible en [https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm:source=EN&utm\\_medium=GSR&utm\\_content=UNDP\\_PaidSearch\\_Brand\\_English&utm\\_campaign=CENTRAL&c\\_src=CENTRAL&c\\_src2=GRSgclid=EAlalQobChMlqPa36b6J9QIVAZqGCh3jqgBgEAAYASAAEgL5e\\_D\\_BwE](https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm:source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GRSgclid=EAlalQobChMlqPa36b6J9QIVAZqGCh3jqgBgEAAYASAAEgL5e_D_BwE)

PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 1998. Manual para la interpretación de resultados de análisis químicos y cálculo de enmiendas para suelos cafetaleros. Nueva San Salvador, El Salvador. 52 p. Consultado 10 sep 2024. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6991?locale-attribute=es>

Rodríguez, OA. 2021. Asesoría de ante proyecto de tesis. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador.

Saldanha, E. 2023. Como potenciar el crecimiento orgánico del durián con boratos (en línea). Estados Unidos, California. Consultado 10 sep 2024. Disponible en <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. 2004a. Función del boro en la producción de tomate (en línea). Bogotá, Colombia. 57 p. Consultado 10 feb 2022. Disponible en <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/tomate/funcion-del-boro-en-la-produccion-de-tomates/>

YARA. 2024b. Nutrición Vegetal: Influir en la firmeza y su vida de almacén (en línea). España, Madrid. Consultado 10 sep 2024. Disponible en <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/firmeza-almacen/>

YARA. 2024c. Nutrición vegetal en tomate (en línea). México, Jalisco. Consultado 10 sep 2024. Disponible en <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/tomate/prevenir-la-podredumbre-apical/>

YARA. 2024d. Deficiencia de boro- tomate (campo abierto) (en línea). España, Madrid.  
Consultado 10 sep Disponible en <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/deficiencias/boro-tomate/>