

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE
CIENCIAS EXPERIMENTALES



TRABAJO FIN DE GRADO

**EFICIENCIA NUTRITIVA PARA CALCIO EN DISTINTAS
VARIEDADES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* Mill.)**

Curso 2015/2016

Alumno: Soukaina Chahid

Director: Miguel Guzmán

**EFICIENCIA NUTRITIVA PARA CALCIO EN DISTINTAS VARIEDADES DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* Mill.)**

Autor: Soukaina Chahid.

Tutor: Miguel Guzmán

Departamento: Agronomía

Titulación: Grado de Ingeniería de Agrícola.

Resumen:

El tomate (*Solanum Lycopersicum* Mill.), es uno de los vegetales más cultivados en el mundo, no solamente por su valor económico sino también por su valor nutricional. Con la creciente demanda por los consumidores, y la introducción de los distintivos de calidad, ésta se ha convertido en una gran preocupación comercial. La calidad del fruto y el rendimiento comercial de tomate son sustancialmente afectados por los trastornos fisiológicos: podredumbre apical (BER) y Cracking. Por ello, surge la necesidad de desarrollar cultivos que absorben y utilicen los nutrientes de manera más eficiente. El desarrollo de nuevos cultivares con mayor NUE, junto con las mejores prácticas de manejo contribuirá a sistemas agrícolas sostenibles que protegen y promueven el suelo, el agua y la calidad del aire. En este estudio, se evalúa la eficiencia en absorción, transporte y redistribución del calcio en diferentes líneas de cinco tipos culturales de la empresa Meridiem Seeds, siendo una manera de reducir la pérdida de nutrientes por las plantas, lo que permite el mantenimiento de las actividades metabólicas, especialmente en periodos sujetos a estrés nutricional, y además se pueden catalogar tales líneas como eficientes en el uso de calcio, ajustando con ello los aportes nutricionales de calcio para las plantas. Los resultados indican una clara influencia varietal y manifiestan diferencias en la eficiencia en el uso de calcio entre las líneas de mejora testadas.

CALCIUM NUTRITIONAL EFFICIENCY IN DIFFERENT VARIETIES OF TOMATO
(*Solanum lycopersicum* Mill.)

Author: Soukaina Chahid.

Supervisor: Miguel Guzmán

Department: Agronomy

Degree: Degree in Agricultural engineering.

Abstract:

The tomato (*Solanum Lycopersicum* Mill.), is one of the most cultivated plants in the world, not only for its economic value but also for its nutritional value. With the growing demand by consumers, and the introduction of quality labels, fruit quality has become a large commercial concern. The quality of the fruit and marketable yield of tomato are substantially affected by physiological disorders such as blossom end rot (BER) and Cracking. Therefore, come the need to develop crops which absorb and utilize nutrients more efficiently. The development of new cultivars with higher NUE, along with best management practices contribute to sustainable agricultural systems that protect and promote the soil, water and air quality. In this study, we will evaluate the efficiency in absorption, transport and redistribution of calcium in different lines of five cultural types from “Meridiem Seeds”, so we can reduce the loss of nutrients by plants, allowing the metabolic activities maintenance, especially in periods of nutritional stress, and also we’ll allow the Company to register those lines by their efficiency in the use of calcium, thereby adjusting the nutritional intake of calcium for plants. The results show a clear difference between varieties and different Ca efficiencies between breeding lines.

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres por su cariño, apoyo y el ánimo que me han dado siempre; también por dedicar su vida a sus hijos y esforzarse en darnos una buena educación.

Youssef Amori, mi pareja y amigo, por su paciencia, y por su apoyo incondicional cuando más lo he necesitado.

Por último, aunque no por ello mucho menos, doy las gracias al profesor D. Miguel Guzmán Palomino por confiar en mí y darme la oportunidad de aprender más, y por su ayuda constante.

Índice de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN:	11
2.	INTERÉS:	13
3.	OBJETIVOS:	15
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:	17
4.1	Eficiencia nutritiva:	17
4.1.1	Introducción:	17
4.1.2	Conceptos de eficiencia:	18
4.2	El Calcio como elemento nutritivo:	19
4.2.1	Calcio en la nutrición vegetal:	19
4.2.2	Dinámica del calcio en el suelo:	19
4.3	Diferencias genotípicas:	20
4.4	Características de la especie cultivada:	21
4.4.1	Generalidades	21
4.4.2	Taxonomía y morfología:	22
4.4.3	Fisiología del crecimiento y fructificación:	24
4.5	Los sustratos de cultivo:	24
4.5.1	Concepto y funciones de los sustratos	24
4.5.2	Propiedades de los sustratos	25
4.5.3	Sustrato usado:	25
4.6	Características del agua de riego y solución nutritiva:	26
4.6.1	Agua de riego:	26
4.6.2	Preparación de las soluciones nutritivas:	27
5.	FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFG Y CRONOGRAMA	29
5.1	Seguimiento del cultivo y fases de la realización del TFG:	29
5.2	Cronograma:	34
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	35
6.1	Material vegetal:	35
6.1.1	Características de los tipos culturales cultivados:	35
6.1.2	Líneas de mejora usadas “Meridien Seeds”:	35
6.2	Materiales para medidas:	37
6.3	Tabla de análisis de agua de riego usada:	38
6.4	Solución nutritiva usada:	38
6.5	Descripción del sistema de invernadero:	38
6.5.1	Situación y orientación:	38
6.5.2	Estructura y dimensiones:	39
6.5.3	Ventilación del invernadero:	39
6.6	Características del invernadero	40
6.6.1	Diseño experimental	41
6.7	Tratamiento Estadístico	42
6.8	WinDIAS 3.1:	43
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN:	45
7.1	Parámetros analizados:	45
7.1.1	Parámetros morfológicos:	46
7.1.2	Parámetros productivos	53
8.	CONCLUSIONES	69
9.	BIBLIOGRAFIA	71

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Interacción entre la altura con los días de trasplante y el tratamiento recibido.	47
Gráfica 2: Pruebas de múltiples rangos para los tipos culturales evaluando su diámetro según el tratamiento recibido.	49
Gráfica 3: interacción entre la superficie foliar total según los días de trasplante por tratamiento recibido.	51
Gráfica 4: Interacción entre tipos culturales y tratamiento cálcico para la superficie foliar. ...	51
Gráfica 5: Interacciones entre tipos culturales y tratamiento cálcico recibido en función del tratamiento aplicado.	52
Gráfica 6: Interacción entre las líneas de Daniela, el porcentaje de número frutos con BER y el tratamiento de calcio.	57
Gráfica 7: Interacción entre la línea, porcentaje superficie Cracking y tratamiento de calcio. ...	57
Gráfica 8: Interacción entre las diferentes líneas y su porcentaje de superficie con BER en función del tratamiento recibido.	59
Gráfica 9: Interacción de las diferentes líneas de Grueso en función del tratamiento recibido y el peso fresco del fruto.	59
Gráfica 10: Interacción entre el porcentaje de superficie Cracking y las líneas de Grueso según el tratamiento.	61
Gráfica 11: Interacción entre el tratamiento de calcio y el peso fresco del fruto para las diferentes líneas de Marmande.	63
Gráfica 12: Interacción entre las diferentes líneas de Marmande, tratamiento recibido y el porcentaje de superficie de Cracking.	64
Gráfica 13: ANOVA para el porcentaje de número de frutos con Cracking para las líneas. ...	66
Gráfica 14: Interacción entre el porcentaje de número de frutos con BER, y las líneas según el tratamiento recibido.	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Las dos soluciones nutritivas para los depósitos de 300L, tanto para el Tratamiento con como para sin.	38
Tabla 2: Abreviaciones usadas.	46
Tabla 3: ANOVA para los parámetros morfológicos medidos.	47
Tabla 4: Tabla LSD para altura, diámetro y datos foliares según tratamiento y tipo cultural. ...	48
Tabla 5: ANOVA para Parámetros de las hojas de tomate frente a los factores principales. ...	50
Tabla 6: Análisis de varianza de los resultados de pesos fresco y seco y consiguiente contenido hídrico de los frutos.	53
Tabla 7: Análisis de varianza de los diferentes parámetros productivos medidos del fruto por el programa WinDIAS.	54
Tabla 8: Pruebas de múltiple rango del porcentaje de las dos fisiopatías en el tipo Cherry ...	54
Tabla 9: Test LSD del % de fisiopatías en la variedad Daniela.	56
Tabla 10: Test LSD para el tipo Grueso.	58
Tabla 11: Pruebas de múltiple rango del porcentaje de fisiopatías en el tipo Marmande.	61
Tabla 12: Pruebas de múltiple rango de los porcentajes de fisiopatías en el tomate tipo Pera.	65

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Fotografía tomada para posterior análisis de área foliar por Windias.	29
Fotografía 2: Entutorando las plantas de tomate.	31
Fotografía 3: Plantas ya entutoradas, primeras etapas de crecimiento del fruto.	32
Fotografía 4: Fruto Daniela, D1'; del tratamiento "con"; foto tomada para posterior análisis Windias.	33
Fotografía 5: Fotografía tomada del tipo Marmande, M3 del tratamiento "sin"	34
Fotografía 6: Fotografía de los dos sectores del invernadero.	40
Fotografía 7: Tanques de fertirriego.	41
Fotografía 8: Comandos del programa WinDIAS para análisis foliares y de fruto.	44

ACRÓNIMOS

CaUE: Eficiencia en el uso de calcio
Ca: Calcio
NUE: Nutricion Use Efficiency
IE: Internal Efficiency
FPP: Factor de Productividad Parcial
WUE: Water Use Efficiency
WES: Water Efficiency Supply
CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico
CE: Conductividad Eléctrica
M: Muestreo
PE bd: polietileno de baja densidad
LSD: Least Significant Difference
ANOVA: ANalysis Of VAriance.
FdV: fuente de Variación.
DDT: dias de trasplante.
Rep: Repeticiones.

1. INTRODUCCIÓN:

La selección genética de las especies cultivadas se realiza normalmente para facilitar su adaptación a suelos de una alta fertilidad (Vose, 1983). El comportamiento nutricional de las especies cultivadas suele ser substancialmente diferente de la vegetación natural que crece en suelos de baja fertilidad (Haynes, Koide, & Elliott, 1991).

En los dos últimos siglos, el enfoque para incrementar la productividad de los cultivos se ha dirigido a incrementar la fertilidad del suelo, haciendo especial énfasis en la importancia de las enmiendas previas a la plantación y en mejorar las características del suelo, como el pH y la disponibilidad de nutrientes, lo que consiste en ajustar estos valores a un nivel óptimo para una determinada especie (Fageria, Baligar, & Li, 2008). Este enfoque de suministro alto, ligado a un fuerte uso de los fertilizantes químicos, tuvo éxito durante la denominada “revolución verde” en las zonas templadas para incrementar la producción de los cultivos en suelos que no tienen propiedades químicas extremas, actualmente su eficacia se ha puesto en duda (Evenson & Gollin, 2003), ya que a pesar de los éxitos de la Revolución verde, la batalla para garantizar la seguridad alimentaria de millones de personas, miserablemente pobres, está lejos de ser ganada (Borlaug, 2000).

Las dificultades, o incluso los fallos del enfoque del suministro alto han conducido en los últimos cincuenta años, al menos en los suelos tropicales y subtropicales, a poner más énfasis en adaptar las plantas al suelo que el suelo a la planta. Este planteamiento requiere genotipos mejor adaptados a condiciones ecológicas adversas (Goron & Raizada, 2015). Se hace necesario incluir en los programas de selección y mejora criterios tanto de alta eficiencia nutritiva como de alta tolerancia a toxicidades (Aluminio y Manganeso) o estreses abióticos (encharcamiento, sequía o salinidad).

Según (Borlaug, 2000)¹ en el siglo 21, el aumento de la población mundial generará una mayor demanda de alimentos, fibra, un mayor costo de los insumos de fertilizantes inorgánicos, la tendencia negativa en los rendimientos de los cultivos, y el aumento de las preocupaciones ambientales a nivel mundial. Además, al menos el 60% de las tierras cultivables del mundo tienen problemas de deficiencia o de toxicidad elementales, y en tales suelos, el uso de fertilizantes o enmiendas son

¹Premio Nobel de la Paz en 1970.

imprescindibles para lograr el rendimiento de los cultivos mejorados (Baligar & Fageria, 2015); Por ello, estos genotipos ayudarán a mejorar los problemas de degradación del suelo que se han desarrollado en muchos sistemas de riego existentes, e igualmente permitirán más éxito agrícola en áreas de suelos ácidos, lo que añade más tierra cultivable a la base de la producción mundial, una mayor tolerancia de condiciones adversas, como la sequía, el calor y el frío y beneficiarán a las zonas de regadío de varias maneras, (Gourley, Allan, & Russelle, 1994).

Este nuevo concepto de bajo suministro, usando genotipos adaptados con un uso más eficiente de los nutrientes de la reserva del suelo y de los fertilizantes nos conduce a producciones que suponen el 80-90% del máximo (Baligar & Fageria, 2015). Tanto por razones económicas como ecológicas, no debe dirigirse solo a condiciones edáficas extremas (e.g. salinidad) sino también a la selección y mejora de genotipos que tengan una alta eficiencia en el uso de los nutrientes del suelo como de los fertilizantes.

2. INTERÉS:

Uno de los principales problemas en la producción del tomate, tanto en invernaderos como en extensivo es la pudrición apical del tomate por deficiencia de calcio, por mala asimilación de calcio o por inadecuado aporte de calcio en la fertirrigación.

La adaptación de las plantas a los suelos ácidos requiere una eficacia alta en la absorción o en la utilización de los nutrientes o ambas cosas, especialmente del fósforo, calcio y magnesio, pero en contraste con la eficiencia del fósforo, la alta eficiencia para el calcio se refiere normalmente a una mejor utilización dentro de la planta. Una mejor utilización que averiguaremos según los genotipos cultivados (Lazcano, 2000).

Según (Guzman, 2004) la abundancia de agua y regularidad de aplicación, causa una importante reducción en la asimilación de este elemento, a pesar de su alta cantidad en el suelo, su antagonismo con el potasio, la acidificación y lavado pueden causar un aparente decrecimiento de asimilación del calcio. Igualmente, existe evidencia científica que demuestra que la salinidad afecta los vasos conductores de agua y nutrientes en el fruto, bloqueando la asimilación de Ca y otros nutrientes.

Optimizando el uso del calcio en el abonado y cultivando variedades más eficientes obtendremos plántulas de mejor calidad, a la vez que reducimos el gasto en abonos y la contaminación del medioambiente; por eso consideramos de gran interés, saber cómo se determina la eficiencia en el uso del calcio (CaUE) en tipos culturales de tomate, analizando los parámetros morfológicos de las plantas con bajo aporte de Ca frente a las que reciben un suministro adecuado de Ca y averiguar para ello, cuáles son las líneas de mejora de la empresa "Meridiem Seeds" más eficientes en el uso del calcio que podrán añadirse al catálogo oficial de venta como calidad rentable.

3. OBJETIVOS:

- Objetivo principal: Determinar la eficiencia en el uso del calcio (CaUE) en tipos culturales de tomate.
- Objetivos secundarios:
 1. Cuantificar los síntomas que presentan las plantas con deficiencia de calcio.
 2. Analizar mediante tratamiento de imágenes los parámetros morfológicos que presentan las plantas con bajo aporte de Ca frente a las que reciben suministro adecuado de Ca.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

4.1 Eficiencia nutritiva:

4.1.1 Introducción:

Desde el punto de vista agronómico y en sentido operacional, las diferencias de eficiencia nutritiva en los genotipos de plantas cultivadas se definen normalmente por las diferencias en el crecimiento relativo o en la cosecha cuando se cultiva la planta en un medio deficiente. Tradicionalmente, la eficiencia de uso de nutrientes se ha definido como la relación de la biomasa y la cantidad total de los nutrientes en la biomasa (Amaral, Martinez, Laviola, Fernandes Filho, & Cruz, 2011).

Para un determinado genotipo, la eficiencia se refleja en su habilidad para producir una elevada cosecha, con respecto a un genotipo estándar, en un medio en el que ese nutriente es deficiente. Esta definición puede aplicarse a la comparación de genotipos intra-específicamente (cultivares o líneas) o a la comparación de cultivos de especies diferentes (Guzman, 2004).

Los científicos de plantas han reconocido desde hace tiempo la necesidad de desarrollar cultivos que absorben y utilizan los nutrientes de manera más eficiente. Dos enfoques se han utilizado para aumentar la eficiencia del uso de nutrientes (NUE) en plantas de cultivo. El primero, implica tanto la reproducción tradicional como la selección asistida por marcadores en un intento de identificar los genes implicados. El segundo, utiliza novedosas construcciones de genes destinados a mejorar aspectos específicos de NUE; haciendo hincapié en la necesidad de combinar los enfoques genéticos y transgénicos para mejorar de manera significativa NUE (Good, Shrawat, & Muench, 2004).

NUE, ha recibido numerosas formulaciones e interpretaciones,

(Yuan, Chen, & Li, 2008), definen NUE como el rendimiento en la producción de materia seca por unidad de fertilizante (elemento en cuestión) disponible en el suelo, siendo el producto de dos factores fisiológicos: la cantidad de nutriente absorbido por el cultivo por unidad de nutriente disponible en el suelo y la eficiencia de utilización de nutriente, que relaciona producción de biomasa por unidad de nutriente absorbido.

(Dobermann, 2007) en un estudio sobre maíz, define eficiencia interna de utilización (IE), como la habilidad de la planta para transformar los nutrientes

adquiridos del sustrato en el órgano de interés comercial, y calcula este índice mediante la relación entre la producción del cultivo y la cantidad de nutriente absorbido por la biomasa aérea, en la madurez fisiológica ; el mismo autor define el factor de productividad parcial (FPP), como el cociente entre la producción del cultivo y la cantidad de nutriente aplicado, y considera este índice como uno de los más importantes para el productor porque da una idea general de la eficiencia del cultivo; Cuanto más eficientes sean las plántulas en el uso del nutriente, serán necesarios menos aportes de abonos y menos sensibles a los síntomas que origina su deficiencia (Horst, Currel, & Wissemeyer, 1992).

4.1.2 Conceptos de eficiencia:

A continuación, diferenciamos entre los diferentes conceptos de eficiencias:

La eficiencia por diferencia genotípica: Los genotipos de plantas difieren en su absorción, translocación, acumulación y uso de elementos minerales. Se discuten ejemplos de diferencias de genotipo a hierro, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, boro, cobre, zinc, y molibdeno. El conocimiento actual es suficiente para indicar que muchas plantas pueden ser mejoradas para el uso eficiente de los elementos minerales y una mejor adaptación a las condiciones de estrés minerales. Las diferencias entre plantas, determinan distintas velocidades de absorción por unidad de longitud de raíz (mayor velocidad de entrada, mayor número de pelos radicales, tamaño de la raíz) (Gourley et al., 1994).

La eficiencia en la adquisición: se define frecuentemente en términos de la absorción total por planta o a la velocidad específica de absorción por unidad de longitud de raíz. Como regla en la eficiencia nutritiva la adquisición de los nutrientes por las raíces de la planta juega el papel más importante (Gutschick, 1993); ésta depende de la edad de la planta y del suministro del nutriente evaluado.

La eficiencia nutritiva: desde el punto de vista agronómico, para diferentes genotipos se define como las diferencias en el crecimiento relativo o en la producción cuando crecen en un suelo deficiente. Aunque según (Chaparro- Torres, Sánchez, Guzmán, & Valenzuela, 2009), en los programas de selección genética, deberían utilizarse en sentido opuesto, es decir, la obtención de cultivares capaces de alcanzar producciones adecuadas, en condiciones de deficiencia.

La eficiencia en el uso de agua (WUE): la relación existente entre la biomasa de un determinado cultivo por unidad de agua utilizada por éste, o de forma más sencilla, es el cociente de la cantidad de producción total entre el agua consumida por

el cultivo; hay que diferenciarla de la eficiencia en el aporte de agua (WES), que es el cociente entre la producción y cantidad de agua aportada al sistema.

La producción hortícola en el entorno de sostenibilidad de los sistemas agrarios está altamente comprometida con el uso racional de un recurso tan escaso como el agua. (Gil, Bota, Llompart, Flexas, & León, 2007).

La eficiencia en la utilización: (Dobermann, 2007) define eficiencia interna de utilización (IE), como la habilidad de la planta para transformar los nutrientes adquiridos del sustrato en el órgano de interés comercial, y calcula este índice mediante la relación entre la producción del cultivo y la cantidad de nutriente absorbido por la biomasa aérea, en la madurez fisiológica.

4.2 El Calcio como elemento nutritivo:

4.2.1 Calcio en la nutrición vegetal:

El calcio se absorbe como Ca^{2+} y es abastecido a las raíces vía flujo de masa o intercepción.

Se caracteriza por ser inmóvil en la planta.

Su concentración promedio en las plantas es de 0,2-1%.

Es el constituyente principal de las paredes y membranas celulares (estructura y estabilidad), es igualmente necesario para la división y elongación celular y es regulador de las enzimas.

4.2.2 Dinámica del calcio en el suelo:

El contenido del calcio, en el suelo difiere principalmente por los materiales de origen, el grado en que la meteorización y la lixiviación han influenciado el proceso de edificación.

Los materiales de origen del calcio son: los minerales como anortita, piroxenos, y anfíboles. Calcita, dolomita, y yeso en zonas áridas (García, 2008).

La meteorización y posterior descomposición de los minerales primarios ricos en calcio depende fundamentalmente de la presencia de hidrogeniones y agentes quelantes, que liberan el calcio de la estructura de los minerales, causando la disolución de los mismos. Los protones son capaces de extraer el calcio de los coloides del suelo, permitiendo su lixiviación si estuviese bajo condiciones de clima húmedo (Berner, Berner, & Moulton, 2003).

Las fuentes de protones en suelos son CO₂ (procedente del agua de lluvia, respiración de los microorganismos, descomposición de la materia orgánica, etc.), nitrificación, azufre, raíces, lluvia ácida, etc.

Los suelos áridos y alcalinos generalmente contienen altos niveles de calcio, pero la presencia de hidrogeniones es prácticamente nula, por ello la liberación de calcio es más difícil, por tanto, se recomienda el uso de agentes complejantes, para potenciar la actividad de las raíces, utilizando azufre o cualquier sistema acidificante, etc.; mientras que en el caso de un suelo ácido contiene gran cantidad de H⁺ que pueden ser intercambiables por iones Ca²⁺, aumentando el pH.

El calcio es el catión intercambiable más dominante por excelencia, ya que normalmente ocupa entre 70 y 90 % de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.

Una sustanciosa cantidad de calcio es adsorbido por los coloides inorgánicos y orgánicos del suelo, siendo usualmente el catión predominante en el complejo de cambio, bien es cierto que dada la fuerza con la que el Ca²⁺ es retenido por los coloides, sería deseable un porcentaje de ocupación del 70-80% de las posiciones de cambio por calcio, para tener un correcto equilibrio nutricional en la solución del suelo de la que se nutren las raíces (Alarcón & García-Sancho, 2000). Recordemos que el orden según la energía de adsorción a los coloides del suelo es Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺. Este calcio cambiante es muy importante para la estructura del suelo, ya que provoca la floculación de los coloides del suelo, mejorando su estructura y estabilidad. La adsorción de los coloides orgánicos y, especialmente, a los ácidos húmicos es específica, de tal forma que éstos se encuentran presentes principalmente como humatos de calcio.

4.3 Diferencias genotípicas:

Es importante señalar que las diferencias genotípicas en eficiencia nutricional están relacionadas con la absorción, el transporte, la demanda metabólica y la redistribución y utilización de los nutrientes dentro de la planta y representan una manera importante de reducir la pérdida de nutrientes por las plantas, lo que permite el mantenimiento de las actividades metabólicas, especialmente en períodos sujetos a estrés nutricional.(Amaral et al., 2011).

Existen notables diferencias en las demandas de ciertos elementos nutritivos, por ejemplo, en los requerimientos de calcio y boro entre mono- y dicotiledóneas. Los

requerimientos de calcio para monocotiledóneas son muy inferiores a los de dicotiledóneas. Dentro de estas especies la eficiencia nutritiva, por ejemplo, para el calcio, puede diferir entre cultivares dependiendo de su velocidad de transporte desde las raíces a los brotes y dentro de los brotes a las hojas más jóvenes. Sin embargo, la razón principal para las diferencias entre los cultivares es que son más sensibles a la baja oferta de Ca, y se deben a las diferencias genéticas por la propia demanda del tejido de la planta para mantener la organización tisular y la función de la misma (Horst, Currel, & Wissemeier, 1992). En el caso de la eficiencia en el uso del boro, ésta es íntimamente ligada con la translocación y distribución del calcio dentro de la planta; es decir una deficiencia de boro puede inducir a cambios anormales en el metabolismo del calcio en la pared celular, dado que ambos elementos nutritivos son los responsables de estructurar las paredes y membranas celulares.

Para las plantas, la absorción de fosfato del suelo es a menudo difícil, en suelos alcalinos, P se une a calcio y en suelos ácidos; El fósforo es por lo general unido al aluminio y / o hierro (van de Wiel, van der Linden, & Scholten, 2015). Entonces, otro ejemplo, podría ser el fósforo, y su relación de eficiencia genotípica con el sodio, en caso de una acumulación de sodio en la parte aérea, se produce un alto remplazamiento del fósforo, por ello se almacenan elevados contenidos de fósforo en las semillas; produciendo así semillas más grandes, o mayor número de semillas. Por consiguiente, aumenta la superficie radical en los primeros estadios de desarrollo y aumenta la adquisición de P, del suelo (mayor demanda de fertilizantes fosfatados). (Riley, Adcock, & Bolland, 1993).

Ejemplo: En praderas mixtas, la deficiencia de fósforo junto con la acidez de los suelos, natural o inducida, provoca toxicidad de aluminio y a su vez perjudica el establecimiento de especies forrajeras, especialmente para el césped mixto de legumbres y leguminosas, es decir se cambian la composición química del suelo.

Para evaluar las diferencias genotípicas en la eficiencia nutritiva es necesario obtener curvas de dosis-respuesta para suministros crecientes y la producción secuencial obtenida. (Marschner, 2012).

4.4 Características de la especie cultivada:

4.4.1 Generalidades

El tomate es una planta originaria de los países intertropicales americanos, su procedencia exacta es dudosa, cuando los españoles llegaron a América en el siglo ya

se cultivaba el tomate. Los primeros indicios de la domesticación de esta planta parecen apuntar a las civilizaciones de Méjico, quizás porque crecía como mala hierba en los huertos; entonces durante el siglo XVI lo llevaron a España e Italia y lo difundieron a Oriente Medio y África, y posteriormente llegó a Canadá y Estados Unidos desde Europa. El nombre de tomate deriva de la palabra *tomatl* en la lengua mexica “náhuatl”. Apareció por primera vez en la impresión en 1595 como cultivo para su aprovechamiento como alimento (Ranc, Muños, Santoni, & Causse, 2008).

Las semillas de tomate se han comercializado desde más de 100 años.

Hoy día, el tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada.

En el tomate maduro, el carotenoide mayoritario es el licopeno, un antioxidante con una función protectora del organismo humano. En nuestra dieta obtenemos licopeno a partir de alimentos muy definidos, fundamentalmente a través del consumo de tomate, sus derivados y de sandía; El tomate lo contiene en aproximadamente un 83%. El contenido en licopeno aumenta con la maduración de los tomates y puede presentar grandes variaciones según la variedad, condiciones del cultivo como el tipo de suelo y clima, tipo de almacenamiento, etc.

El tomate es un ejemplo excelente del cultivo más tolerante a las altas temperaturas.

A la hora de maduración de los frutos son los tomates Tipo Cherry las mejores representantes de esta cualidad, lo que los capacita para ser un cultivo de verano viable en los invernaderos (Morales, Álvaro, & Urrestarazu, 2013). Además, es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

4.4.2 Taxonomía y morfología:

El tomate (*Solanum lycopersicum* MILL) pertenece a la familia de las Solanaceae. Ésta constituye una familia de un importantísimo interés económico, dentro de ella pertenece al género *Lycopersicon*.

Es una planta cultiva normalmente como anual, pero cuya duración vegetativa en condiciones climáticas favorables puede prolongarse varios años.

Posee un sistema radial amplio, constituido por una raíz principal provista de una gran cantidad de ramificaciones secundarias y reforzado por la presencia de un gran número de raíces adventicias surgidas desde la base de los tallos, debido al gran sistema radical que posee ha contribuido a favorecer que sea una planta ampliamente cultivada en los diferentes sistemas hidropónicos.

El tallo del tomate es anguloso, de 2-4 cm recubierto en toda su longitud de pelos muchos los cuales, al ser de naturaleza glandular, le confieren un olor característico. El desarrollo del tallo es variable en función de los distintos cultivares, existiendo dos tipos fundamentales de crecimiento:

- Cultivares con tallos de desarrollo determinado, en los que el crecimiento del tallo principal, una vez que ha producido lateralmente varios <pisos> de inflorescencia, detiene su crecimiento como consecuencia de la formación de una inflorescencia terminal.
- Cultivares con tallos de desarrollo indeterminado, que tienen la particularidad de poseer siempre en su ápice un meristemo de crecimiento que produce un alargamiento continuado del tallo principal, originado inflorescencias solamente en posición lateral, normalmente cada tres hojas.

Las hojas se disponen sobre los tallos alternadamente y son compuestas e imparipinnadas, constituidas generalmente por 7-9 foliolos lobulados o dentados, pudiendo aparecer en el raquis de la hoja pequeños foliolillos. De la misma manera que el tallo, están recubiertas de pelos glandulares que le confieren el olor característico a la planta de tomate

La floración del tomate se produce en forma de racimos simples o ramificados en diferentes pisos o estratos, siendo lo normal que en cada inflorescencia pueda hacer entre 3 y 10 flores.

El fruto del tomate es una baya bi o multilocular, con peso desde unos pocos gramos a más de 600g; de color generalmente rojo en la maduración, aunque algunas variedades pueden presentar otras coloraciones, como amarillo violeta, etc. La superficie de la baya puede ser lisa o acostillada y en su interior se delimitan claramente los lóculos carpelares. El diámetro de los frutos varía entre 3 y 16 cm.

Las semillas son grisáceas, de pequeños tamaños, discoidales y recubiertas de vellosidades. En 1g de semillas puede haber hasta 350 semillas y su capacidad germinativa dura cuatro o cinco años.

4.4.3 Fisiología del crecimiento y fructificación:

La fisiología del fruto de tomate es afectada por el ambiente (luz, temperatura, HR, viento, medio donde se desarrollan las raíces, etc.):

Luz: muy buena luminosidad afecta positivamente al desarrollo del fruto, para modificar la luminosidad en nuestra zona, se usan plásticos transparentes e incoloros, o de tonalidades amarillentas o mallas de sombreo, según la temporada, se realiza la poda de formación y de hojas.

T^a: La temperatura óptima del desarrollo es entre 20° y 30°C durante el día y entre 10° y 17°C durante la noche. Durante el período de floración, temperaturas encima de 25°C y por debajo de 12°C impiden la fecundación. Durante el período de fructificación, altas temperaturas inciden sobre la maduración del fruto, por ende, temperaturas debajo de 10°C y más que 30°C hacen que el fruto adquiera tonalidades amarillentas.

La temperatura óptima para el crecimiento de la raíz es de 25-30°C. La luz inhibe la formación de la raíz y las técnicas de cultivo influyen en el desarrollo radicular.

HR: la humedad relativa óptima, oscila entre 60% y 80%. Con humedades superiores a 80% aumenta la incidencia de enfermedades en la parte aérea de la planta, agrietamiento de los frutos o dificultades en la polinización; y por debajo del 60% se dificulta la fijación de los granos de polen al estigma.

4.5 Los sustratos de cultivo.

4.5.1 Concepto y funciones de los sustratos

Se define el sustrato como “todo material sólido distinto del suelo, natural o de síntesis, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta, pudiendo intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición vegetal”.

De este modo, las funciones básicas de un sustrato de cultivo son proporcionar un medio ambiente óptimo para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas (Cruz-Crespo et al., 2013)

4.5.2 Propiedades de los sustratos.

Los sustratos de cultivo vienen caracterizados por tres propiedades:

- a- Propiedades físicas: espacio poroso total, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, agua de reserva y distribución del tamaño de las partículas
- b- Propiedades químicas: capacidad de intercambio catiónico, elevada capacidad tampón, un pH a 5,3 a 6,5 ligeramente ácido, elevado contenido de materia orgánica, hasta el 80%.
- c- Propiedades biológicas: una velocidad de descomposición mínima, actividad reguladora del crecimiento (auxinas), producción de ácidos húmicos y fúlvicos.

4.5.3 Sustrato usado:

El material utilizado para la experiencia es la perlita. Se trata básicamente de un silicato de aluminio, el cual procede de rocas volcánicas vítreas (grupo de las riolitas), que se han formado por enfriamiento rápido, constituyendo un material amorfo que contiene un 2-5% de agua combinada.

En su tratamiento industrial, el material se precalienta a 300-400°C y se deposita en hornos a 1000°C. El agua combinada se evapora rápidamente, expandiéndose el producto para formar un material particulado (agregados ligeros).

La perlita conforma una estructura celular cerrada. Posee una superficie rugosa con numerosas indentaciones, lo que le proporciona una gran área de superficie y le permite retener agua en su superficie o en los poros existentes entre dichas partículas, igualmente posee baja densidad aparente y una elevada porosidad, y en cuanto a sus propiedades químicas: C.I.C. es prácticamente nula (1,5 a 2,5 meq .x 100 g-1) y el pH es neutro (7-7,5).

Comercialmente se utilizan distintos tipos de perlita que se diferencian unos de otros por el tamaño de las partículas y en su densidad.

Entre éstos, merecen ser destacados:

- I- Tipo "A-13", constituido por la fracción gruesa (3-5 mm; densidad 100-120 Kg/m³).
- II- Tipo "B-12", constituido por las fracciones medias y gruesas, junto con las fracciones finas (0-5 mm; densidad 105-125 Kg/m³).
- III- Tipo "B-9", constituido por las fracciones finas (0-1.5 mm; densidad 80-90 Kg/m³).

De entre todos los tipos de perlitas mencionados anteriormente, el tipo de perlita utilizado en este caso es el B-12, Este sustrato fue escogido por ser un material inerte, que no se descompone biológica ni químicamente; además, facilita la extracción de los cepellones y permite una fácil limpieza del sistema radical de las plántulas, con lo que nos ahorra trabajo a la hora de tomar las sucesivas muestras.

La perlita se comercializa en sacos de cultivo en dimensiones 120x22x17 cm que contiene unos 40 litros de la misma. El saco normalmente es de plástico coextrusionado blanco/negro, de 800 galgas, y experimenta una reducción de su inercia térmica después de los primeros riegos (Cadahia, 2005).

4.6 Características del agua de riego y solución nutritiva:

4.6.1 Agua de riego:

El agua de riego se considera uno de los factores limitantes de ciertos cultivos hortícolas, y es imprescindible conocer las características del agua de riego a utilizar, por ello, se usan los siguientes parámetros:

La Conductividad eléctrica (CE): tiene relación con las sales disueltas en el agua. Cuántas más sales disueltas, mayor CE. El contenido de C.E no puede sobrepasar 1 g/l, ya que será peligroso para los cultivos. En nuestro caso, la conductividad eléctrica para el agua de riego usado oscila entre 1,5 y 2,5 dS/m en función de la programación de fertirrigación realizada, es la misma para los dos tratamientos.

pH: el valor del pH influye en el grado de asimilación del nutriente o su disponibilidad en forma aprovechable. El valor óptimo es comprendido entre 6-6,5. En nuestra zona el pH tiende a ser básico por ello se le añaden ácidos como el ácido nítrico en este experimento para contrarrestar el efecto y reducirlo.

4.6.2 Preparación de las soluciones nutritivas:

Existen dos formas o posibilidades típicamente usadas para la preparación de una mezcla de elementos con el fin de conseguir una solución nutritiva adecuada:

- I- Realizar una disolución concentrada, preparando cada elemento nutritivo antes que se produzca la mezcla.
- II- Añadir directamente las sales solubles al agua, siempre que los productos químicos sean compatibles entre sí.

La mezcla de elementos no se realizará de forma aleatoria, ya que dependerá de la solubilidad de cada producto y de sus ácidos. Así de esta manera, para una solución comercial de cuatro sales (tipo "Lago"). Por ello, en este experimento, seguimos las instrucciones de Resh en su manual de cultivos hidropónicos, quien indica que en primer lugar deben disolverse los sulfatos y a continuación los nitratos y los fosfatos. También aconseja disolver individualmente cada sal y aportar posteriormente al tanque de la solución aportando en primer lugar los micronutrientes y después los macronutrientes, como se ha señalado anteriormente. Posteriormente ajustar el pH de la solución de forma que este quede comprendido entre 6 y 6,5 añadiendo ácido sulfúrico o hidróxido potásico, para su correcto ajuste.

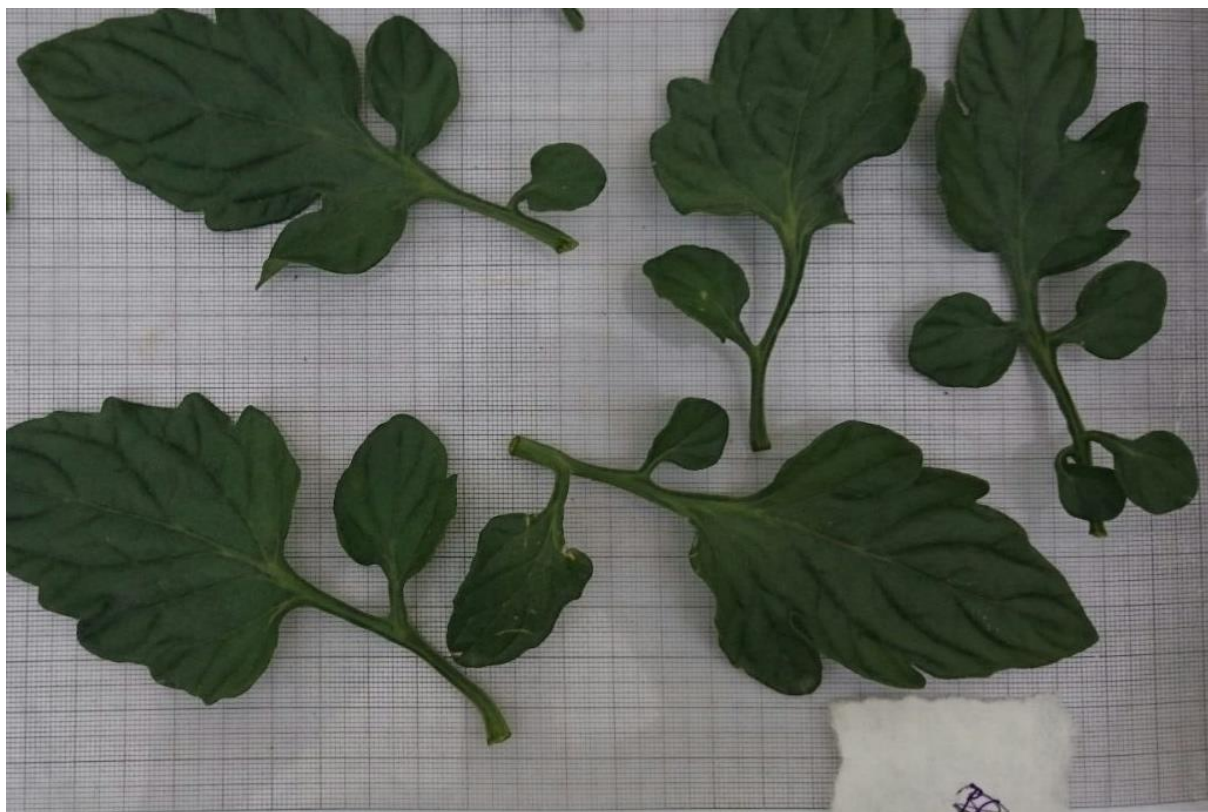
5. FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFG Y CRONOGRAMA

5.1 Seguimiento del cultivo y fases de la realización del TFG:

Las plantas se sembraron el día 07 de enero en el semillero, se trasladaron las plántulas en el invernadero el día 16 de febrero, se trata de 24 líneas de mejora de la empresa Meridiam Seeds, pertenecientes a los tipos culturales de tomate Marmande (6), Cherry (4), Daniela (4), Grueso o Beef (4) y Pera (6).

La primera toma de datos se realizó, a la semana del trasplante para diferentes partes de cada planta de tomate, un proceso que se repetía semanalmente, midiendo la altura (H) y el diámetro (d) de cada planta.

El primer muestreo destructivo, se realizó el 23 de febrero a los 8 días de trasplante, y consiste en separar las partes de la planta: Raíz, Tallo y Hojas, se pesaron esas partes y se tomaron fotos de las hojas para un posterior análisis mediante el programa Windias, 3.1. (Fotografía 1); también se midieron H y d



Fotografía 1: Fotografía tomada para posterior análisis de área foliar por Windias.

Posteriormente se llevaron las partes de las plantas muestreadas a la estufa a 60° C durante 24-48 horas y después se pesaron en seco para determinar el contenido hídrico.

Después de pesar en seco las diferentes partes de las plantas, se introdujeron en bolsas de plástico convenientemente rotuladas. Éstas se llevan al laboratorio para ser analizadas mediante un proceso de mineralización, comparando el contenido del calcio en la parte distal y proximal del fruto e igualmente el contenido del Ca, en las hojas y tallos para un trabajo fin de Máster (Tabla 6).

Después del primer muestreo M0, se tomaron medidas de altura y diámetro semanalmente: el día 14 de marzo, 25 de marzo, 01 de abril, 08 de abril.

En el siguiente muestreo destructivo M1, de los días 15 y 22 de abril, el fruto definía el estado "verde maduro", previamente se habían entutorado las plantas con mayor crecimiento. (Fotografía 2). En M1, se tomaron fotos de las hojas para el análisis de la superficie foliar. (Fotografía 3)



Fotografía 2: Entutorando las plantas de tomate.



Fotografía 3: Plantas ya entutoradas, primeras etapas de crecimiento del fruto.

Después del M1, se siguieron tomando las medidas de H y d; hasta el día 03 de junio, cuando se procedió a realizar el último muestreo destructivo M2, en éste los frutos ya son maduros para los distintos tipos culturales, se procedió de igual modo que en el segundo muestreo. Se recolectaron todos los frutos, y se les tomaron fotos para proceder con el análisis de la superficie del fruto rojo por Windias 3.1, evaluando las sintomatologías aparentes en la superficie del fruto, debido a la falta o exceso de Calcio. (Fotografía 4) (Fotografía 5).



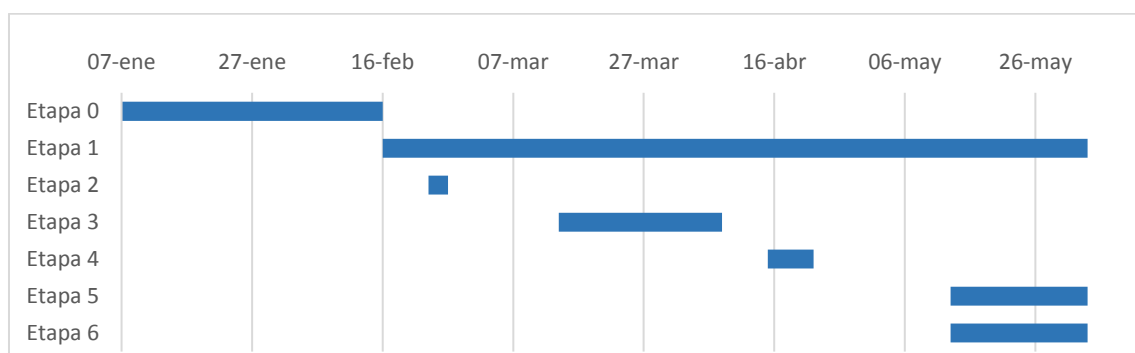
Fotografía 4: Fruto Daniela, D1'; del tratamiento "con"; foto tomada para posterior análisis Windias.



Fotografía 5: Fotografía tomada del tipo Marmande, M3 del tratamiento “sin”

Todas las medidas de crecimiento vegetativo, y de los datos de superficies foliares y de fruto se recogieron en un Excel, para el análisis estadístico por Statgraphics Centurion XVI. II ©, Versión 16.1.11.

5.2 Cronograma:



	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
Comienzo	07-ene	16-feb	23-feb	14-mar	15-abr	13-may	13-may
Duración	40 días	108 días	3 días	25 días	7 días	21 días	21 días

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Material vegetal:

6.1.1 Características de los tipos culturales cultivados:

Los tipos de tomate cultivados son:

- **Cherry:** (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*): variedades arbustivas enanas, de pequeño tamaño, también se denominan «cereza». Es muy productiva (Ramilletes de 10 frutos muy uniformes) y tiene una extraordinaria capacidad de aguante tanto en la planta como en postcosecha. En caso de Cherry Tigre, se trata de una planta vigorosa de color verde oscuro de hojas estrechas y rizadas. Frutos ligeramente alargados con cuello verde intenso de peso medio entre 25-30 g, muy duros y de excelente coloración.
- **Daniela:** Tipo cultural indeterminado fuerte y productiva sin cuello verde, para cultivo en invernadero o al aire libre. Fruta muy uniforme, rojo brillante, muy dura; con 4 lóculos. Larga vida de estantería (L.S.L.) hasta tres semanas. Muy buen resultado en cultivo de invierno bajo invernadero. Tamaño entre 200-230 g con forma ligeramente aplanada y producción muy uniforme.
- **Grueso:** Tipo cultural de ciclo corto, con fruto rojo o verde intenso, es de tipo Beef achatado y acostillado, puede alcanzar 350g, con vigor medio-alto, de fácil cuaje y buena combinación entre firmeza y color.
- **Marmande:** Tipo cultural de tomate extremadamente precoz. El número de frutos por planta suele ser de 5 a 15, siendo de tamaño grande, color rojo o verde, achatado y acostillado. La planta es de tallo alto, y porte indeterminado, vigorosa. Gran calidad organoléptica.
- **Pera:** planta de vigor medio alto, con diferentes formas: elipsoide, ovoide o elongada. Son híbridos que destacan por su gran precocidad, uniformidad y dureza de los frutos. En caso del elongado, su peso oscila entre 130-160 g con cuello verde y poco sensible al rajado peduncular.

6.1.2 Líneas de mejora usadas “Meridiem Seeds”:

TIPO CHERRY:

Línea A--MS24: Fruto cherry tipo ovoide, maduración en rojo, recolección en ramo.

Línea B--16TN 1469: Fruto cherry, ligeramente elongado, recolección en ramo o suelto, color zebra rojo con "green stripes".

Línea C--16TN 1635: Fruto cherry, para recolección en ramo, esférico, color rojo intenso.

Línea D--16TN 1636: Fruto cocktail, recolección en ramo o suelto, esférico, color rojo intenso.

TIPO DANIELA:

Línea A--MS11: Fruto tipo Daniela para recolección en suelto. Redondo, liso, unicolor. Calibres MM. Recolección en rojo.

Línea B--16TN 1206: Fruto tipo Daniela para recolección en suelto. Redondo, liso, unicolor. Calibres M. Recolección en rojo.

Línea C--16TN 1351: Fruto tipo Daniela para recolección en suelto o en ramo. Redondo, liso, unicolor. Calibres M. Recolección en rojo.

Línea D--16TN 1359: Fruto tipo Daniela para recolección en suelto o en ramo. Redondo, liso, unicolor. Calibres M. Recolección en rojo.

TIPO GRUESO:

Línea A--16TN 1060: Fruto achatado y acostillado, tipo beef calibre GG-GGG. Cuello verde muy intenso. Hombros marcados. Para recolección en verde pintón.

Línea B--16TN 1073: Fruto tipo beef, achatado y ligeramente acostillado, calibre GG. Cuello verde intenso, hombros ligeramente marcados. Para recolección en verde pintón.

Línea C--16TN 1075: Fruto tipo beef, ligeramente achatado y poco acostillado, calibres GG. Hombros y cuello verde suaves. Para recolección en verde pintón.

Línea D--16TN 1076: Fruto tipo beef, fuerte achatado y acostillado, calibres GG-GGG. Hombros muy marcados e intenso cuello verde. Para recolección en verde pintón.

TIPO MARMANDE:

Línea A--MS5: Fruto tipo Marmande, fuerte acostillado y achatado. Cuello verde intenso, calibres GG y color rosado en maduración.

Línea B--MS9: Fruto tipo Marmande, fuerte acostillado y achatado. Cuello verde intenso, calibres GG y color rojo en maduración.

Línea C--16TN 1271: Fruto tipo Marmande, ligeramente acostillado y achatado. Calibres G y coloración tipo zebra, rojo con "green stripes".

Línea D--16TN 1272: Fruto tipo Marmande, fuerte acostillado y achatado. Cuello verde intenso, calibres GG y color rojo en maduración.

Línea E-- 16TN 1278: Fruto tipo Marmande, acostillado y achatado. Cuello verde intenso, calibres GG y color rojo en maduración.

Línea F--16TN 1281: Fruto tipo Marmande, ligeramente acostillado y achatado. Calibres G y coloración tipo zebra, rosado con "green stripes".

TIPO PERA:

Línea A--MS13: Fruto tipo pera elongado, calibres M, ligero cuello verde, recolección en rojo

Línea B--16TN 1428: Fruto tipo pera elongado, calibres M-G, ligerísimo cuello verde, recolección en ramo o suelto, rojo

Línea C--16TN 1432: Fruto tipo pera ovoide, calibres M-G, sin cuello verde, recolección en suelto, rojo

Línea D--16TN 1436: Fruto tipo pera ovoide, calibres MM, sin cuello verde, recolección en ramo, rojo.

Línea E--16TN 1437: Fruto tipo pera elipsoide, calibres MM, sin cuello verde, recolección en ramo o suelto, rojo.

Línea F--16TN 1442: Fruto tipo pera elongado, calibres M, sin cuello verde, recolección en ramo rojo.

6.2 Materiales para medidas:

Pie de rey, calibre digital 150mm: para medir el diámetro del tallo;

Regla, Metro: para medir la longitud del tallo de las plantas de tomate.

Balanza de precisión: tipo Metter 4600 Delta Range, con sensibilidad de 0,01 g.

Tijeras, cuchillo: para cortar la planta.

Estufa: a 60°C, para secar las diferentes muestras.

Perlita: tipo B-12, formada por fracciones medias, gruesas y finas.

2 tanques con 2 diferentes soluciones nutritivas: de capacidad 300l, cada uno.

6.3 Tabla de análisis de agua de riego usada:

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis físico-químico realizado al agua de riego:

<i>pH</i>	<i>CE</i> (<i>mS/cm</i>)	$H_3CO_3^-$	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}
6.4	0.5	3.4	0.3	1.2	1	1

Cationes y aniones expresados en mmol/l.

6.4 Solución nutritiva usada:

Tabla 1: Las dos soluciones nutritivas para los depósitos de 300L, tanto para el Tratamiento con como para sin.

Depósito de 300 L	g CON Ca		g SIN Ca	
Ácido nítrico	46 ml		46 ml	
Nitrato cálcico	259		26	
Nitrato amónico	2		11	
Nitrato potásico	129		319	
Sulfato de magnesio	114		114	
Fosfato monoamónico	3		16	
Fosfato monopotásico	37		22	
Sulfato potásico	114		86	
Micronutrientes	5		5	

6.5 Descripción del sistema de invernadero.

6.5.1 Situación y orientación:

El experimento se realizó dentro del recinto de la Universidad de Almería, en un invernadero tipo multi-túnel, cuya estructura consta de cuatro naves, una en las cuales se realizó la experiencia.

El invernadero presenta una orientación de 325° siguiendo la longitudinal del mismo, en la dirección Norte-Sur, con el fin de favorecer la captación de luz.

6.5.2 Estructura y dimensiones:

La estructura del invernadero está formada por 7 pies derechos cuyas dimensiones son de dos metros de alto, 1,25 m de flecha para los arcos y 8 m de cuerda.

Tales pies derechos están separados entre sí por 4 m para los situados en los extremos, mientras que los dos del centro poseen una separación de tan sólo 2 m.

En el perímetro se sitúan pilares inclinados hacia fuera que dan estabilidad al conjunto. Los cables de tensión también sirven como soportes de las dos redes de alambre entre las que se sitúa el plástico.

La altura del invernadero oscila entre los 2 m del amagado y 3 m de raspa. La anchura total del invernadero es de 25 m y la longitud de 30 m por el lateral más corto y 35 m por el más largo, La puerta de acceso al invernadero está orientada al Sur y es de 2 m de ancho.

Las ventajas que ofrece el invernadero multi-túnel (Torrellas et al., 2011), son:

- Tipo de invernadero barato y sencillo.
- Mejor capacidad de control de clima que un invernadero plano.
- Buen reparto de luminosidad.
- Mayor uniformidad de estanqueidad que un invernadero plano.
- Reduce los problemas de condensación y goteo de agua en los cultivos, gracias a su cubierta curva, haciendo posible la evacuación de tal agua al exterior desde donde se recoleta. (fácil evacuación de agua de lluvia).
- Montaje rápido y sin soldadura.

6.5.3 Ventilación del invernadero:

La cubierta del invernadero es de polietileno de baja densidad (PE bd), de 200µm de espesor, provisto de un sistema de ventilación cenital, con una superficie de apertura del 40 al 50%. La elevación de la ventilación cenital se realiza con un sistema de cremalleras cuyo accionamiento se realiza por motoreductor comandado manual o automáticamente.

Como control de seguridad se dispone de un dispositivo automático, conectado a un anemómetro situado en la parte superior de la cubierta. Dicho

dispositivo cerrara las placas cenitales cuando la velocidad del viento supere los 20km/h, en dirección Este-Oeste, y si su dirección es otra cualquiera, la velocidad no debe superar los 50 Km/h.

Se ha establecido una temperatura de 25°C para la apertura de las placas, pero el anemómetro puede anular la acción determinada por el sensor temperatura.

6.6 Características del invernadero.

El invernadero se ha dividido en dos sectores, un sector para el tratamiento “Con calcio” y el otro “Sin calcio”.

El diseño consta de 24 unidades experimentales en las que las líneas de mejora incluidos en los 5 tipos culturales, se someten a los dos tratamientos diseñados. Cada unidad experimental tratamiento consta de 3 repeticiones para las variables muestreadas (Fotografía 6).



Fotografía 6: Fotografía de los dos sectores del invernadero.

A cada uno de los sectores van dirigidas unas conducciones de riego para las plantas.

El sistema de riego consta de dos tanques de 300 litros, uno tiene la solución nutritiva enriquecida con N, P, K Con Calcio, y el otro Sin Calcio (Fotografía 7).



Fotografía 7: Tanques de fertirriego.

Las parcelas constan de un autómata de fertirrigación HIMARCAN, el cual está regulado por un PC 486, con un programa de gestión de fertirrigación para cada tanque.

Se utilizaron dos diferentes soluciones nutritivas, para cada tanque respectivamente, y también variando la proporción de inyección de cada solución madre, en función del estadio fenológico alcanzado en cada momento del ciclo (Tabla 1).

Las plantas se regaron los primeros 10 días después del trasplante, sólo con agua sin abonos, durante 4 minutos diarios.

A partir de los diez días, se empezaron a regar con soluciones nutritivas, 7 minutos diarios.

Las plantas han llevado por parte de los técnicos, un seguimiento fitosanitario, usando Vertimec → Abamectina 1.8%: (Oídio: 0.2-0.4cc/L) y (Ácaros, lyriomiza: 0.5-0.1 cc/L).

6.6.1 Diseño experimental

El diseño de los experimentos es del tipo factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos factores, cada uno de los cuales, con distintos valores o niveles. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre

la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable. El primer factor es el Tratamiento con diferentes niveles de Ca aplicado. Consta de 2 niveles de acción: Ca= 0 y Ca = 100. El segundo factor está constituido por los diferentes tipos culturales con 5 niveles de acción: G= tipo Grueso; D= tipo Daniela; M= tipo Marmande; P= tipo Pera y C= tipo Cherry. Un tercer factor, anidado al segundo, lo constituyen las líneas de mejora testadas.

6.7 Tratamiento Estadístico.

Para el tratamiento de datos, se utilizará el paquete informático Statgraphics Centurion XVI ©, Versión 16.1.11.

Las variables analizadas se someterán a un análisis de la varianza multifactorial en el que las fuentes de variación lo constituyen los dos factores del diseño y la variabilidad debida a las repeticiones y al tiempo en el que se realizan las determinaciones. En las variables en las que las fuentes de variación presentan diferencias estadísticamente significativas para la varianza se realizará un test de secuencia de medias de Mínima Diferencia Significativa (LSD) para los factores, y las interacciones entre ellos, con el objeto de determinar cuáles son los tipos culturales y las líneas de mejora presentan que mayor eficiencia nutritiva al Ca.

Por lo tanto:

1. Análisis de la varianza: (Analysis of Variance), Este análisis se ha realizado por medio de la tabla ANOVA, la cual descompone la variabilidad de los dos factores dentro de contribuciones esperadas varios factores.

En este análisis, la contribución de cada factor, ha sido medida habiendo eliminado los efectos de los demás factores. Los valores-P que aparecen en las tablas muestran la significancia estadística de cada uno de ellos, de manera que cuando los P-valores son menores de 0,05, esos valores tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%.

Para ello parte de 3 requisitos previos:

- La independencia: es el investigador quien debe garantizarla mediante una adecuada toma de muestras.
- La normalidad: debe contrastarse mediante un test apropiado, por ejemplo, el de Kolmogorv-Smirnov.

- La homocedasticidad u homogeneidad de las varianzas; debe también contrastarse con un test apropiado como F de Fisher o de Levene.

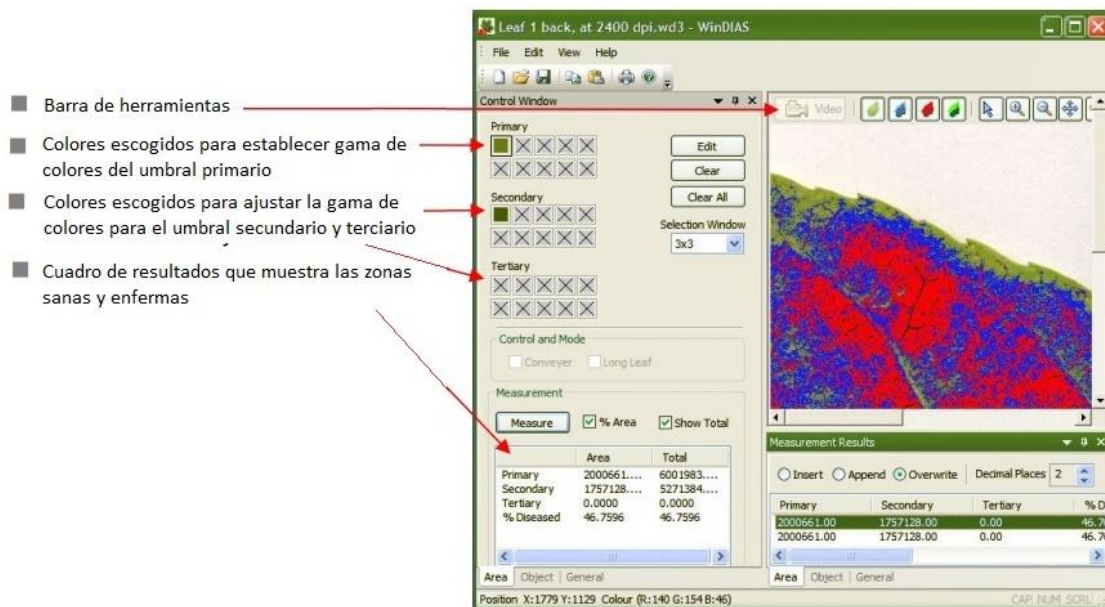
La varianza (S^2), se define como la media de las diferencias cuadráticas de n puntuaciones con respecto a su media aritmética. La varianza no tiene la misma magnitud que las observaciones. Si queremos que la medida de dispersión sea de la misma dimensionalidad que las observaciones, bastará con hacer su raíz cuadrada. Por ello se define la desviación típica S como \sqrt{S} .

2. Test de rango múltiple: El método usado para discriminar entre las medias, es el de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). En las tablas y gráficos obtenidos se aplican comparaciones múltiples para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras. En este experimento, se adjuntarán gráficas de este test.

6.8 WinDIAS 3.1:

El sistema WinDIAS ofrece funciones de análisis de imagen especializados adecuados para una amplia gama de aplicaciones en las ciencias de las plantas. Está especialmente destinado a aplicaciones que requieren alta discriminación de color, por ejemplo, en el área de fitopatología. Proporciona un conjunto completo de estadísticas de medición.

El área foliar se determinó mediante la medida de la superficie de las hojas para cada muestreo, en el momento de cultivo correspondiente. La medida de esta superficie se realiza mediante la captación de imágenes de las hojas por una cámara de 22 megapíxels y se trata mediante el programa de tratamiento de imágenes Windias 3.1, como se muestra en la imagen abajo (Fotografía 8).



Fotografía 8: Comandos del programa WinDIAS para análisis foliares y de fruto.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

7.1 Parámetros analizados:

En este apartado vamos a analizar los parámetros vegetativos medios de las diferentes plantas de tomate medidos por el paquete informático Statgraphics Centurion, mediante un análisis de la varianza multifactorial (ANOVA), para averiguar las interacciones entre las distintas fuentes de variación (FdV), con diferencia significativa, se realizará un test de secuencia de medias de Mínima Diferencia Significativa (LSD) para hojas, tallo, raíz y fruto.

En este test se representan diferentes parámetros morfológicos de las plantas frente a la variación que se pueda presentar según días de trasplante (DDT), tratamiento de calcio (Trat.Ca), tipo de cultivo (Tipo de Cult.), líneas y repetición (rep).

Todo ello, para poder evaluar si las fuentes de variación presentan diferencias estadísticamente significativas o no significativas (lo que implicará no considerar ese parámetro).

Se representará:

- ***La tabla ANOVA:***

Que descompone la variabilidad de la fuente de variación principal en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 6 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la fuente de variación principal con un 95,0% de nivel de confianza.

- Igualmente se recurre, a ***las tablas de pruebas de múltiples de rango:***

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se identifican as diferencias significativas según, el tipo de letra, por ello si tenemos en una misma columna las mismas letras, quiere decir, que las fuentes de variación no muestran

diferencias estadísticas significativas mientras que, si son diferentes letras, sí muestran diferentes resultados.

Este método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

En referencia a la nomenclatura usada en tablas y gráficos:

Una letra es asignada a cada uno de los niveles posibles de la variable. Los grupos homogéneos entre cuyos niveles no existen diferencias significativas comparten la misma letra. Cuando las letras son diferentes, indica que esos grupos presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% del nivel de confianza. Cuando a un grupo se le asignan dos o más letras diferentes, éstas determinan la pertenencia del mismo a la intersección de los grupos homogéneos en los que cualquiera de las letras está presente.

Por ello se usarán las letras: a, b, c, d, e, f.

Para facilitar el estudio estadístico y la consiguiente redacción del mismo, se hacen las siguientes consideraciones previas Tabla 2:

DDT: días de trasplante	h: altura	d: diámetro
Ps: peso seco	Pf: peso fresco	Sup.: superficie
Trat. Ca: tratamiento calcio	Cul.: cultivo	BER: blossom end rot
Crack: Cracking	Valores-P: > ó < 0,05	

7.1.1 Parámetros morfológicos:

En la Tabla 3, observamos que la altura al igual que el diámetro muestran diferencias significativas para DDT, Trat. Ca, Tipo cul.

La relación entre altura y diámetro, muestra datos concluyentes para el DDT, y Tratamiento de calcio.

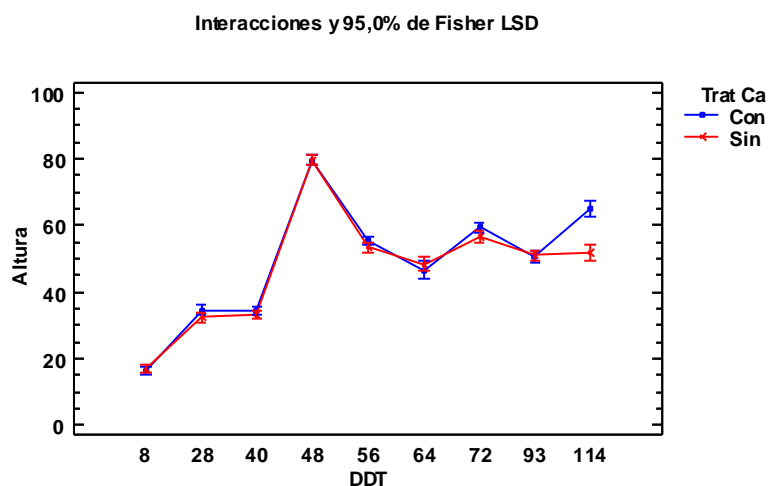
Tabla 3: ANOVA para los parámetros morfológicos medidos.

FdV	Altura	Diámetro	h/d	Ps raíz	Ps tallo
DDT	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	ns	ns	ns
Tipo cul.	<0.05	<0.05	<0.05	ns	ns
Rep.	ns	ns	ns	ns	ns

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05, éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- La repetición no representa en ningún caso alguna diferencia estadísticamente significativa, por ende, no se considerará en los demás tratamientos.

Los parámetros morfológicos están separados a continuación, en diferentes apartados, para su mejor entendimiento:

a) *ALTURA*:



Gráfica 1: Interacción entre la altura con los días de trasplante y el tratamiento recibido.

En Gráfica 1, se representa la interacción entre la altura, los días de trasplante y el tratamiento recibido; por ello observamos que a partir del día 8, las plantas siguen un desarrollo creciente, hasta el día 48, que corresponde al día: 06/04/2016, en ese día se realizó el pinzamiento de las plantas para que se mantengan aproximadamente con la misma altura, y que se mida de forma más sencilla el abonado y riego, para el tamaño de frutos deseados. En consecuencia, a partir del día 48, las plantas

demuestran unas alturas sin diferencias estadísticas significativas. No se muestran significancias estadísticas para el tratamiento, hasta el día 114; en el cual a mayor aporte de calcio más alta es la planta.

En la Tabla 4, observamos que los diferentes tipos de tomate representan alturas similares para Cherry y Daniela con una media de 50cm, también casi idénticas para Marmande y Grueso con un valor de 47cm de alto, y la única que presenta un dato de altura significativa es la variedad Pera con una media de 44,44cm. Y si consideramos las interacciones de las variedades con el tratamiento, frente a la altura que representan; observamos que la única en la que se evidencia el suministro de Calcio con un aumento de altura es la variedad Marmande, un hecho comprobado por el estudio de (Mansour, Ismaili, Ramadan, & Gyulai, 2009) sobre diferentes líneas de Marmande cultivadas en Egipto, a las cuales se aportaban diferentes fertilizantes para evaluar los atributos de rendimiento de forma morfológica, por ello, a los que se les aportó mayores contenidos de abonos cálcicos presentaban mayor vigor.

Tabla 4: Tabla LSD para altura, diámetro y datos foliares según tratamiento y tipo cultural.

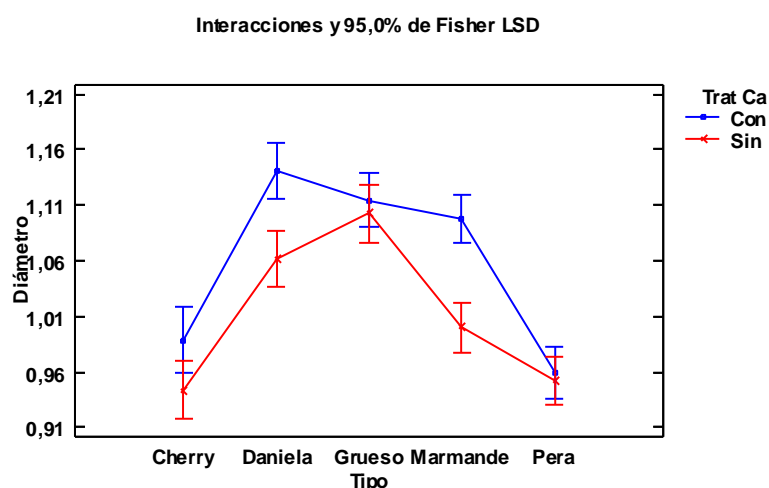
FdV	Altura	Diámetro	h/d	Sup. Foliar	% Fisiopatía
DDT	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	ns
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	ns	<0.05	<0.05
Con	49.12 b	1.06 b	48.02 a	4778.28 b	0.124 a
Sin	47.01 a	1.01 a	48.37 a	4117.6 a	0.179 b
Tipo Cul.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Pera	44.44 a	0.955 a	47.95 b	4477.35 bc	0.160 a
Marmande	47.99 b	1.048 b	45.89 ab	3727.53 ab	0.247 b
Cherry	49.67 b	0.966 a	53.79 c	5356.88 c	0.099 a
Grueso	47.77 bc	1.108 c	45.10 a	5056.61 bc	0.131 a
Daniela	50.48 c	1.101 c	48.25 b	3621.34 a	0.119 a

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

b) DIÁMETRO:

Tal y como se esperaba, el diámetro es mayor en los cultivos, que cuentan con mayor aporte de calcio, como se muestra en la Tabla 4, por ello, se representan las medias de los diámetros de las plantas en cm frente al tratamiento recibido. Nos damos cuenta que el tratamiento de calcio efectivamente muestra una significancia considerable, es decir, que a mayor contenido de calcio más vigorosa y más grueso será el porte de la planta. Un parámetro que se comprueba, gracias al experimento realizado por (Amaral et al., 2011) para cultivares de café en el que los resultados fueron similares citando: cuánta más asimilación de aporte cálcico se da lugar al crecimiento y desarrollo de órganos, tales como tallos más gruesos, hojas de importancia en la producción de compuestos orgánicos requeridos para los procesos de floración y fructificación.

En la Gráfica 2 de interacción entre la variación del diámetro en función del tratamiento recibido y teniendo en cuenta los tipos culturales, se observa en Daniela y Marmande, que, a mayor aporte de calcio, las plantas presentan mayor grosor de tallo.



Gráfica 2: Pruebas de múltiples rangos para los tipos culturales evaluando su diámetro según el tratamiento recibido.

c) SUPERFICIE FOLIAR:

En la Tabla 5 abajo, las diferencias significativas se muestran para el peso seco de las hojas, la superficie foliar y el número de hojas en relación con las fuentes de variación principales.

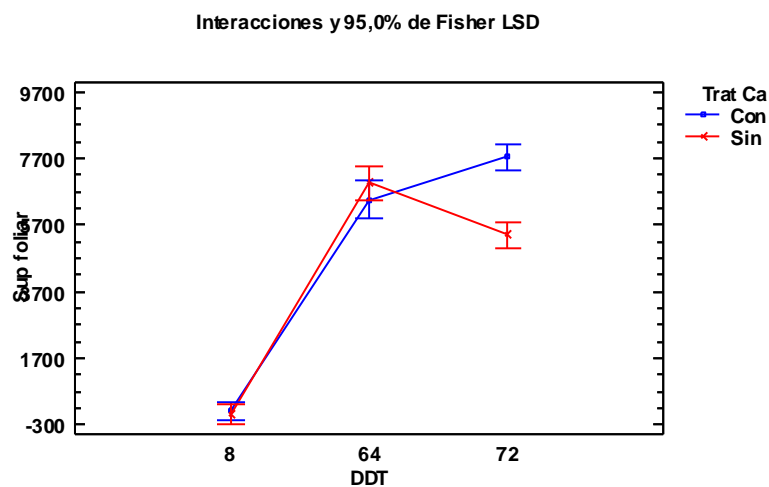
Tabla 5: ANOVA para Parámetros de las hojas de tomate frente a los factores principales.					
FdV	Ps hoja	Nº de hojas	Sup. Foliar	Sup. Hoja sana	Fisiopatía hoja
DDT	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	ns
Tipo cul.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
rep	Ns	ns	Ns	ns	ns

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05, éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- La repetición no representa en ningún caso alguna diferencia estadísticamente significativa, por ende, no se considerará en los demás tratamientos.

Para la Gráfica 3 abajo dibujada, se observa que a partir de los primeros días de trasplante hasta el día 64, la superficie foliar seguía siendo similar para los cultivos que reciben cantidades adecuadas de calcio como para los que no lo reciben suficientemente, pero a partir del día 64 se observa, que se aumenta la superficie foliar con mayor aporte de calcio, dado que ya las plantas empiezan a desarrollar órganos fructíferos, que necesitan mayor aporte de nutrientes, se desarrollan por tanto más hojas, aumentando la actividad fotosintética y por consiguiente la energía necesaria para formar fotoasimilados.

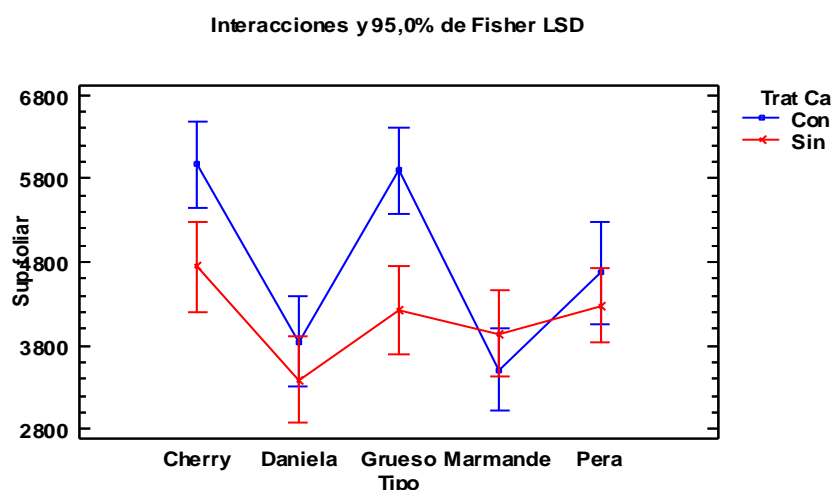
De la misma Gráfica 3 adjunta abajo, la superficie foliar aumenta gracias a mayor aporte cálcico. Un hecho que independientemente del cultivo, suele ocurrir.

En el trabajo de análisis de crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (*Phaseolus vulgaris*) de (Good et al., 2004), se comprueba que el calcio se acumula de forma progresiva en las hojas, aumentando el área foliar, cuanto más abastecimiento de calcio mayor índice de crecimiento foliar (ICF).



Gráfica 3: interacción entre la superficie foliar total según los días de trasplante por tratamiento recibido

La Gráfica 4 de interacción, muestra un comportamiento diferente para las distintas variedades experimentadas, para ello los tipos culturales Cherry y Grueso son los únicos que a mayor aporte de fertilizantes cálcicos presentarán mayor desarrollo foliar, mientras que las demás variedades tal aporte no supone ninguna diferencia en el área foliar. Las medias de área foliar de WinDIAS, reflejan para Cherry un 5356,88cm² y para Grueso 5056,61cm² (Tabla 4).

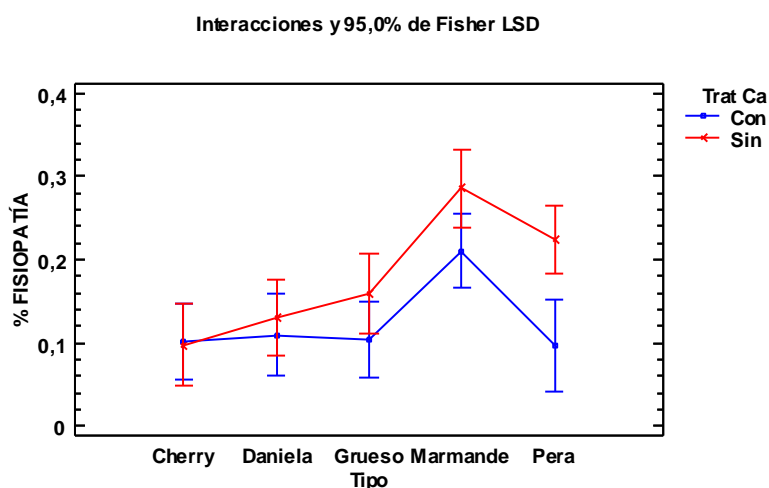


Gráfica 4: Interacción entre tipos culturales y tratamiento cálcico para la superficie foliar.

d) FISIOPATÍA:

La Tabla 4 muestra que, aportando menos calcio, se manifiesta más porcentaje de fisiopatías, tales como Cracking y Blossom End Rot, lo que es evidente, aunque no siempre es así según (Nonami, Fukuyama, Yamamoto, Yang, & Hashimoto, 1995), ya que a veces un exceso de suministro de calcio, sugiere que la incidencia de la podredumbre apical y/o Cracking están relacionados con el trastorno metabólico con la expresión de genes regulados bajo condiciones de estrés.

La siguiente Gráfica 5 confirma la hipótesis anteriormente citada, ya que demuestra que el porcentaje de fisiopatías se presentará independientemente de si se aporta adecuadamente el calcio o no, ya que se debe a un trastorno de absorción de calcio por parte de la planta, aunque evidentemente se asume menos incidencia de Cracking y BER con un aporte adecuado de calcio, caso que se evidencia a continuación para el tipo Pera.



Gráfica 5: Interacciones entre tipos culturales y tratamiento cálcico recibido en función del tratamiento aplicado.

7.1.2 Parámetros productivos

Los parámetros productivos referidos al fruto se detallan a continuación, en tablas y gráficas para su mejor entendimiento:

Tabla 6: Análisis de varianza de los resultados de pesos fresco y seco y consiguiente contenido hídrico de los frutos.							
FdV	Pf fruto proximal	Pf fruto distal	Pf fruto total	Ps fruto proximal	Ps fruto distal	Ps fruto total	Pf-Ps (contenido hídrico)
DDT	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Trat. Ca.	<0.05	ns	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Tipo cul.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Rep	Ns	ns	ns	Ns	Ns	Ns	ns

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05, éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- La repetición no representa en ningún caso alguna diferencia estadísticamente significativa, por ende, no se considerará en los demás tratamientos.

En la Tabla 6 anteriormente citada, el Pf proximal y total del fruto muestran una diferencia estadísticamente significativa frente a las FdV principales. Al igual que Ps del fruto distal, proximal y total. El contenido hídrico también muestra significancia estadística para cada uno de los factores.

En la Tabla 8 el 50% de la superficie de frutos tiene síntomas de Blossom End Rot; y al comparar la línea con el tratamiento nos damos cuenta que este 50% pertenece totalmente al 100% de las plantas que no han recibido tratamiento de Calcio;

Muchos investigadores han atribuido la aparición de la podredumbre apical, a una deficiencia de calcio, relacionándolas con la absorción de nutrientes por las raíces, el transporte y el desequilibrio al absorber calcio, ya que la demanda difiere de la tasa de crecimiento de los frutos. Sin embargo, se sabe que los síntomas de BER son causados por la desintegración de las membranas celulares y un aumento de la permeabilidad de iones, que es lo que justamente ocurre si no se aporta adecuadamente la cantidad necesaria de calcio a la planta (Saure, 2001).

Tabla 7: Análisis de varianza de los diferentes parámetros productivos medidos del fruto por el programa WinDIAS.

FdV	Diámetro Frutos	% N° frutos con BER	%Fisiopatía fruto	Sup. Del fruto	% N° frutos con cracking	Sup. Del fruto rojo
DDT	<0.05	<0.05	Ns	<0.05	<0.05	<0.05
Trat. Ca.	ns	ns	Ns	ns	<0.05	<0.05
Tipo cul.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Rep	ns	ns	Ns	ns	ns	ns

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

A continuación, si separan los diferentes resultados obtenidos para el fruto según los tipos de tomate.

CHERRY:

Tabla 8: Pruebas de múltiple rango del porcentaje de las dos fisiopatías en el tipo Cherry

Fdv	% n° Frutos BER	% Sup. BER	% n° Frutos Cracking	% Sup. Frutos con Cracking
Trat. Ca.	Ns	<0.05	ns	Ns
Con	0 a	0 a	0.00 a	0.00
Sin	25 b	2.66 b	0.00	0.00
Línea	Ns	<0.05	ns	Ns
A	0 a	0 a	0.00	0.00
B	50 b	5.33 b	0.00	0.00
C	0 a	0 a	0.00	0.00
D	0 a	0 a	0.00	0.00

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

En el caso de Cracking, ninguna línea de Cherry presenta síntomas de Cracking ya que todos los datos son iguales, representando por tanto una probabilidad absoluta, es decir, el Cherry no se afecta por Cracking, por lo cual son muy resistentes (Tabla 8).

En un estudio realizado por (Domínguez et al., 2012), sobre los trastornos de crecimiento y maduración en frutos carnosos, específicamente en este caso de la variedad Cherry, se han analizado los daños biomecánicos que se dan en el fruto como el “Cracking”, valorando con antelación la composición de capa exterior y su rendimiento mecánico ya que son de gran importancia, en especial durante la maduración debido a que en ese estado, la presión interna ya no se sostiene por la degradación de las células del pericarpio, y hace que la epidermis y la cutícula se rompan , produciendo Cracking en el fruto de Cherry. Se confirmó con este estudio la poca incidencia de Cracking en el fruto de Cherry según genotipos, por ello, la alta radiación y baja humedad relativa disminuía la composición de la cutícula, haciendo que el fruto sea más vulnerable al Cracking sobre todo en los genotipos de Cherry pequeños. Sin embargo, los frutos agrietados tenían una cutícula menos deformable (baja tensión máxima) que los frutos que no sufrían Cracking. Pero por lo general, la variedad Cherry, presentaba menos incidencia de Cracking en relación con otros (Domínguez et al., 2012).

DANIELA:

Tabla 9: Test LSD del % de fisiopatías en la variedad Daniela.				
Fdv	% n° Frutos BER	% Sup. BER	% n° Frutos Cracking	% Sup. Fru. Cracking
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Con	0 a	0 a	5.02 a	1.25 a
Sin	0.33 b	11.21 b	84.44 b	15.07 b
Línea	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A	14.52 b	2.42 b	33.88 a	2.42 a
B	0 a	0 a	50 c	10.23 c
C	0 a	0 a	50 c	7.5 b
D	50 c	20 c	45.04 b	12.51 d

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

Como se demuestra en la Tabla 9: *Test LSD del % de fisiopatías en la variedad Daniela*, el porcentaje del número de frutos con BER es más grande con un 50% en la línea D y un 14.5% en la línea A. Las demás líneas, no tienen cuantificados los síntomas de BER (sin diferencias significativas);

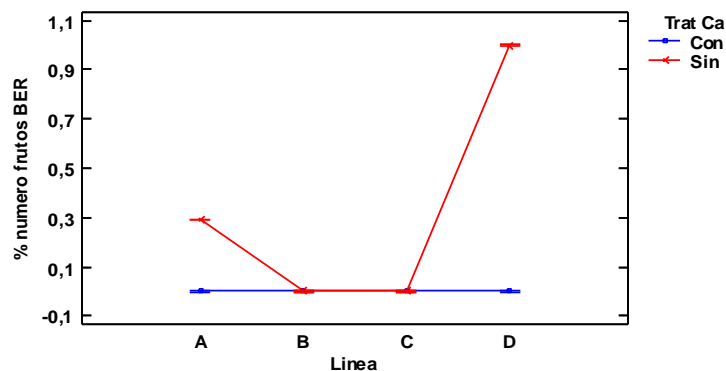
Además, este tipo cultural presenta claramente sintomatologías notables al aplicar Calcio, (Tabla 9) por ello el porcentaje de número de frutos con BER al aplicarles calcio es de un 0%, y los que reciben el tratamiento “sin”, presentan mayor incidencia de BER para la línea A con un 3% y D con un 10%. Justamente, como se observa en la gráfica abajo (Gráfica 6).

En caso de Cracking, ver (Gráfica 7) las sintomatologías presentadas son inversas en relación a los demás tipos de tomate, por ende, al aportar más calcio, se sufre menos Cracking. Esto se debe a la existencia de genotipos que son más susceptibles al Cracking, por lo tanto, hay que considerar la óptima selección de cultivares según los trastornos con mayor probabilidad de ocurrencia en nuestra plantación, y que puedan producir daños económicos (Liebisch, Max, Heine, & Horst, 2009).

Esto también se puede evidenciar con el ensayo de (Lichter et al., 2002) basado en la inmersión del fruto en agua para averiguar los factores que intervienen en la producción del agrietamiento de éste, se concluyó que la adición de calcio al agua,

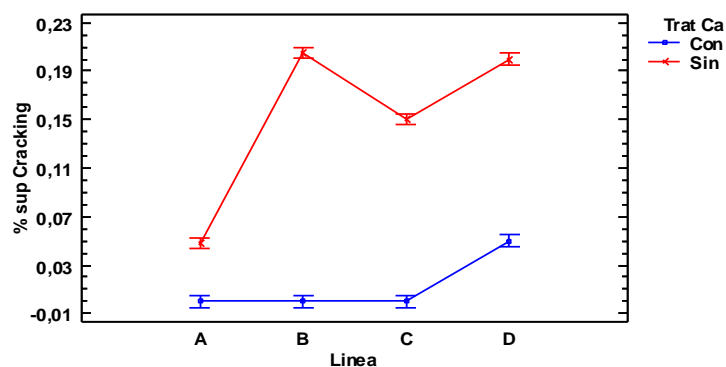
disminuía la incidencia de Cracking, mientras que la adición de agentes quelantes producía lo contrario, lo que sostiene nuestro experimento.

Según las líneas, para el tratamiento con calcio, la que presenta mayor incidencia de Cracking es la línea D (Tabla 9).



Gráfica 6: Interacción entre las líneas de Daniela, el porcentaje de número frutos con BER y el tratamiento de calcio.

Profundizando más, con la interacción de los tres factores, (Gráfica 7) las líneas A, B y C no muestran ninguna incidencia de Cracking, mientras que la línea D si con un 3%. El tipo Cherry es que muestra mayor significancia en términos del porcentaje de superficie del fruto rojo en relación a los factores principales como se muestra en la (Tabla 7).



Gráfica 7: Interacción entre la línea, porcentaje superficie Cracking y tratamiento de calcio.

GRUESO:

Tabla 10: Test LSD para el tipo Grueso				
Fdv	% n° Frutos BER	% Sup. BER	% n° Frutos Cracking	% Sup. Fru. Cracking
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Con	37.68 b	8.75 a	75 b	22.90 b
Sin	32.41 a	12.5 b	67.77 a	10.04 a
Línea	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A	100 c	30.16 c	85.47 b	15.14 b
B	0 a	0 a	0 a	0 a
C	0 a	0 a	100 c	20.49 c
D	40.2 b	12.33 b	100 c	30.26 d

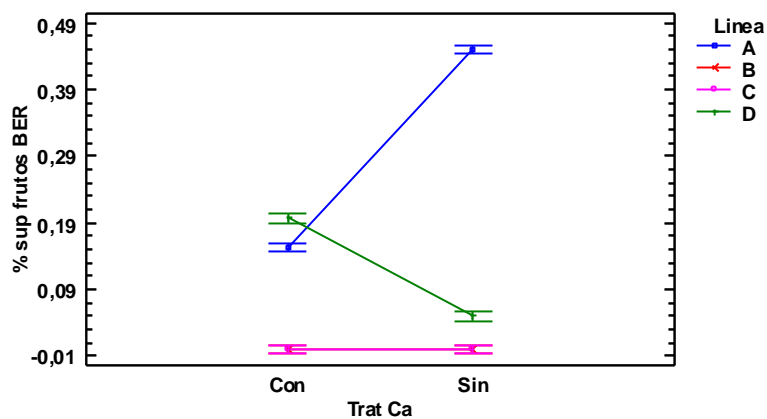
- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

El grueso presenta sintomatologías diferentes, y al igual que en el Daniela presenta mayor significancia de BER en las líneas A y D (Tabla 10).

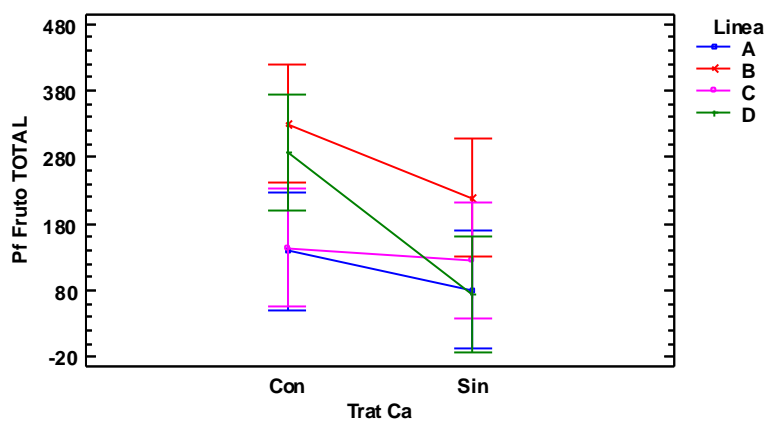
con la excepción de la línea B y C que tanto al aplicarles la adecuada dosis de calcio o no siempre, presentan la misma superficie de frutos de Blossom end Rot; Por ello, en la siguiente gráfica las líneas B y C están solapadas, ya que se comportan de igual modo frente al aporte de Ca; (Gráfica 8).

Se confirma entonces, que cuando se suministra calcio a la planta esto no está directamente ligado con la presencia de BER, sino que está implicado con la movilización del calcio que con la presencia de calcio en el medio; Por lo tanto, en esta variedad para el tratamiento "Con calcio", se observa un porcentaje mayor de frutos presentando Blossom end rot, porque se impide la movilización del calcio hacia el fruto; hay más calcio en el medio pero no llega al final del fruto, de hecho la otra parte del proyecto, realizada por un compañero de máster analizando la cantidad de calcio en la parte distal y proximal del fruto, comparándolos con el contenido en la hoja; apoya esta teoría de distribución del micronutriente.

La línea B es muy eficiente en el uso del Ca, ya que aplicando bajos insumos se comporta igual que si no le aportas abonos cálcicos, por ello en términos de biomasa, y de productividad esta línea es la más eficiente de todas, como se observa en la (Gráfica 9) a continuación,



Gráfica 8: Interacción entre las diferentes líneas y su porcentaje de superficie con BER en función del tratamiento recibido.



Gráfica 9: Interacción de las diferentes líneas de Grueso en función del tratamiento recibido y el peso fresco del fruto.

Es decir, por ejemplo: teniendo en cuenta que el fruto sin calcio tiene un peso de 80g, y con calcio tiene 280g.

Si le aportamos 1g de calcio/ 1l de disolución al fruto que pesa 80g; éste tendrá una eficiencia de 80g/l.

Y al fruto que pesa 280g; le aportamos 100g de calcio/1l de disolución; tendrá una eficiencia de 2,8 g/l.

Esto demuestra la buena eficiencia de la línea B; ya que con bajos insumos produce más biomasa.

(Coltman, Gerloff, & Gabelman, 1985) informaron de que, al parecer, un aumento en el peso fresco para las líneas que consideran “Ca-eficientes” puede justificarse por unas características genéticas favorables en el uso del calcio.

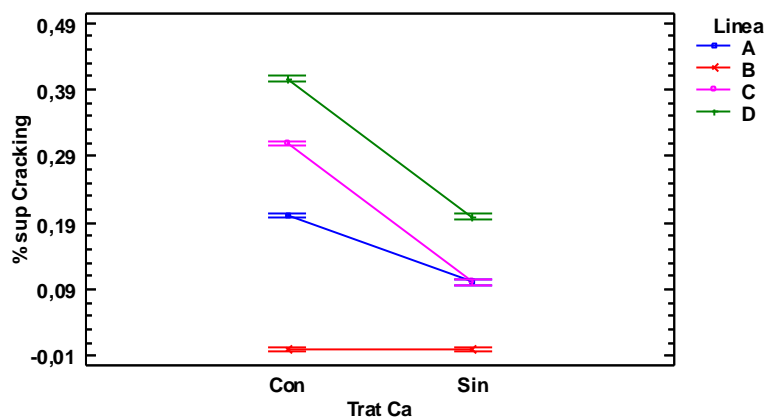
Este caso de eficiencia, se repite en la variedad Marmande, y además es más acusado.

Hablando de Cracking, la línea B es la más eficiente al igual que para la podredumbre apical ya que, presenta la misma incidencia en % de superficie de Cracking en relación al tratamiento de calcio, mientras que, para las demás líneas, se observa el comportamiento esperado, mayor cracking al obtener mayor suministro de calcio (Gráfica 10).

Según (Lichter et al., 2002), el Cracking está íntimamente ligado con el peso del fruto, es decir, una disminución de peso fresco del fruto, asociada con la pérdida de agua durante el almacenamiento de los frutos (está correlacionada con un bajo potencial de Cracking en el fruto). Por lo contrario, la maduración del fruto durante el almacenamiento produce mayor Cracking.

Por lo general, se observa mayor % de número de frutos con Cracking para los frutos que reciben mayor cantidad de calcio, (Gráfica 10) por ello:

Cabe destacar que, en un estudio realizado en un invernadero en Tailandia, para dos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivares King Kong 2 (KK2) y FM TT 260 (FM TT) con el objetivo de investigar la influencia de las aplicaciones de solución acuosa combinando el (Ca) y el boro (B) con el agente tensioactivo Gluco Pon (R) para ver su incidencia sobre el rendimiento y la calidad del fruto. Se prestó especial atención a la podredumbre apical (BER) y el Cracking del fruto (FC), dos trastornos que prevalecen en el tomate y son las principales causas para la no comercialización de frutos de tomate en las condiciones de cultivo protegido en el centro de Tailandia. Las aplicaciones de Ca y B disminuyeron la incidencia de BER pero aumentaron el Cracking del fruto (FC) al mismo tiempo (Liebisch et al., 2009).



Gráfica 10: Interacción entre el porcentaje de superficie Cracking y las líneas de Grueso según el tratamiento.

MARMANDE:

Tabla 11: Pruebas de múltiple rango del porcentaje de fisiopatías en el tipo Marmande.

Fdv	% n° Frutos BER	% Sup. BER	% n° Frutos Cracking	% Sup. Fru. Cracking
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Con	24.5 a	11.05 a	71.64 b	14.12 b
Sin	58.23 b	19.85 b	86.39 a	26.25 a
Línea	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A	0 a	0 a	100 c	35.19 f
B	14.83 b	4.66 c	100 c	24.87 e
C	93.66 f	43.5 f	99.16 c	15.64 b
D	64.36 e	24.90 e	64.92 b	22.75 d
E	25.32 c	1.66 b	100 c	20.15 c
F	50 d	18 d	10.03 a	2.50 a

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

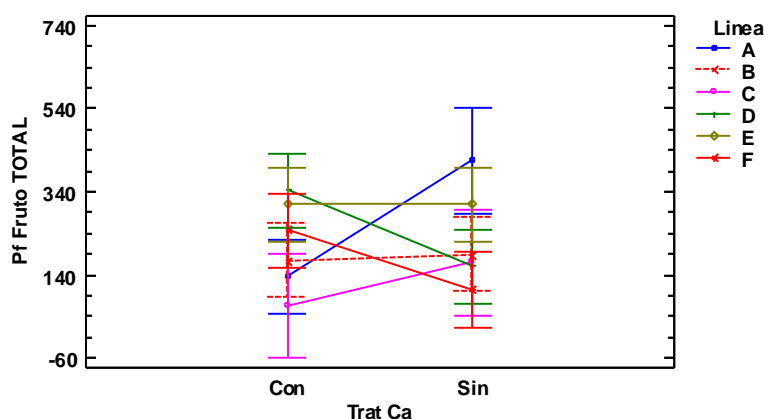
En la tabla anteriormente representada, (Tabla 11) se constata que la incidencia de Blossom end Rot se observa significativamente, en las líneas B, C, D, E y F; a excepción de la línea A que no presenta frutos con BER.

Cada una se presenta de una forma independiente, ejemplo: La línea B sin calcio no tiene BER (0%), y la línea B con calcio sí tiene BER con un valor del 30%; La línea C, D, E, F presentan el comportamiento opuesto y esperado. La línea A, se comporta igual si le aplicamos calcio, o si no se le aplica la dosis adecuada (Tabla 11).

La hipótesis aportada por (Ho & White, 2005), sobre este comportamiento particular de las líneas, sugiere que el blossom end rot es iniciado por una disfunción celular en la parte distal del fruto joven durante la expansión celular rápida. Propone que la cantidad de calcio insuficiente, está disponible para funciones citoplasmáticas y apoplásticas y cuando la demanda del Ca celular impuesta por vacuolización excede la entrega Ca a una célula en expansión, se da lugar a una deficiencia local de Ca, por lo tanto, puede resultar en la producción anormal de Calcio intracelular, las señales de un debilitamiento de la pared celular y una pérdida de la integridad celular. En última instancia, puede conducir a la muerte celular y los síntomas visibles de la podredumbre apical.

(Ho & White, 2005) sugieren varias estrategias experimentales para confirmar la ocurrencia de anormales concentraciones de calcio en las células que contribuyen a BER, pero la más importante es la pulverización de Ca directamente sobre los frutos jóvenes para prevenir la incidencia de BER, ya que esto afectará de forma directa a la concentración del calcio en el tejido apoplástico. Esto podría ser una forma sencilla, de tratar la línea B previniendo la incidencia de BER, ya que, aunque recibe aportes adecuados de calcio, no lo moviliza bien.

De hecho, comparando los datos de eficiencia del fruto con el peso fresco total en la línea B, observamos que los frutos del tratamiento sin, pesan igual que los del tratamiento con; por ello, producen lo mismo, por tanto, y como aplicación práctica, se puede aconsejar al agricultor aportar poco calcio a esta línea dado que el fruto se comportará de la misma forma, pero la razón exacta, considerando que la eficiencia es la producción/unidad de superficie, es que es más eficiente esta línea, puesto que nos produce mucho con pocos insumos, y además cuando se le aplica la cantidad adecuada de calcio, produce BER, es decir, se impide la movilización del calcio, cuando hay mucho calcio en el medio, éste se queda en las raíces, en las hojas, o en el tallo, pero no llega a la parte proximal del fruto (Gráfica 11).



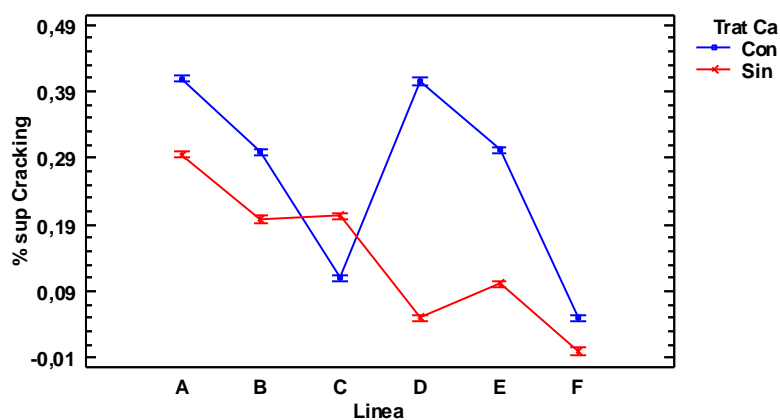
Gráfica 11: Interacción entre el tratamiento de calcio y el peso fresco del fruto para las diferentes líneas de Marmande.

Pero estadísticamente, y por norma presentan más BER los frutos que no reciben el suministro adecuado de Calcio, por ello, en el artículo (Mansour et al., 2009) confirman que ni la eficiencia en el uso de calcio ni una elevada captación de calcio son una base sólida para la selección de cultivares de tomate con resistencia a BER, el factor crucial es la capacidad para desviar el calcio suficientemente lejos de las hojas hacia la parte distal del fruto.

En esta variedad de tomate, se pueden analizar todos los diferentes comportamientos, que se pueden dar.

Evaluando el Cracking, todas las líneas padecen esta fisiopatía, pero se manifiesta más en los frutos con calcio que sin calcio (Gráfica 12).

A nivel de líneas, todas presentan un porcentaje de superficie de Cracking alto al aportarles mayor cantidad de calcio, menos la línea C que presenta mayor superficie de Cracking con el tratamiento "Sin" como se demuestra a continuación (Gráfica 12).



Gráfica 12: Interacción entre las diferentes líneas de Marmande, tratamiento recibido y el porcentaje de superficie de Cracking.

Esto se debe a la siguiente condición: si un fruto pasa del estado “verde maduro” hacia la maduración en rojo, ya deja de crecer, por tanto, cuando se produce una modificación en las condiciones ambientales, de riego, de suministros (aportes de fertilizantes), o se induce un nuevo crecimiento, entonces el fruto crece cuando ya sus cubiertas están duras; por eso se raja, y se produce el Cracking.

El endurecimiento del fruto se da por acumulación de calcio, si las paredes se endurecen más, quiere decir, que los aportes cálcicos se exceden, e igualmente eso hace que sea más fácil que se rajen los frutos.

La variedad F es menos sensible: tiene menos % de superficie de Cracking en el fruto en el caso del tratamiento sin calcio.

PERA:

Tabla 12: Pruebas de múltiple rango de los porcentajes de fisiopatías en el tomate tipo Pera.

Fdv	% n° Frutos BER	% Sup. BER	% n° Frutos Cracking	% Sup. Fru. Cracking
Trat. Ca.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Con	55.03 a	18.82 a	4.15 b	0.83 b
Sin	65.58 b	24.77 b	0 a	0 a
Línea	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A	20.16 a	9.5 a	0 a	0 a
B	50 b	20 c	0 a	0 a
C	72.68 d	28.66 e	0 a	0 a
D	50 b	12.5 b	0 a	0 a
E	69.2 c	22.64 d	0 a	0 a
F	100 e	37.5 f	12.47 b	24.95 b

- la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando los valores-P son menores que 0,05, éstos tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%. En caso, que el valor-P sea mayor de 0,05; éste no muestra un efecto estadísticamente significativo, se expresará: ns.
- El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra.

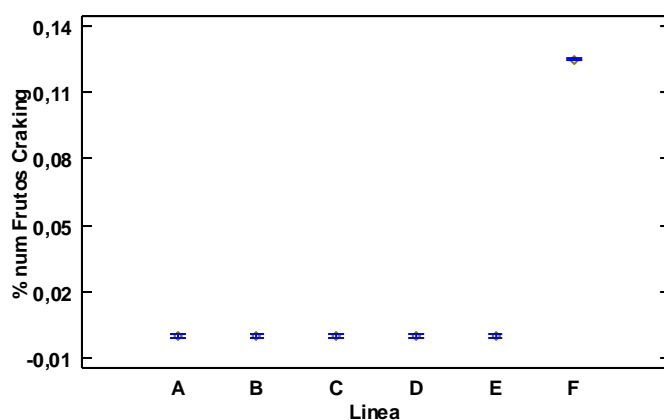
En la (Tabla 12) arriba, se demuestra que las fuentes de variación que marcan las fisiopatías representan diferencias significativas según las líneas que sean, y el tratamiento recibido, y más concretamente la Línea F es la más susceptible al Blossom end rot, con una media del 100% frente a las demás líneas.

De hecho, y como se observa en la (Gráfica 14) el porcentaje de superficie de frutos con BER es más alto para línea F, seguidamente de C, E, B, D, A. Por ende, se puede decir que la línea más resistente al BER en el tipo Pera, es la línea A, presentando menos sintomatologías de daños y además el aporte de calcio para esta línea, como para la línea C, aunque en pequeñas cantidades manifiesta los mismos síntomas, que si le aplicamos cantidad mayor de aportes cálcicos.

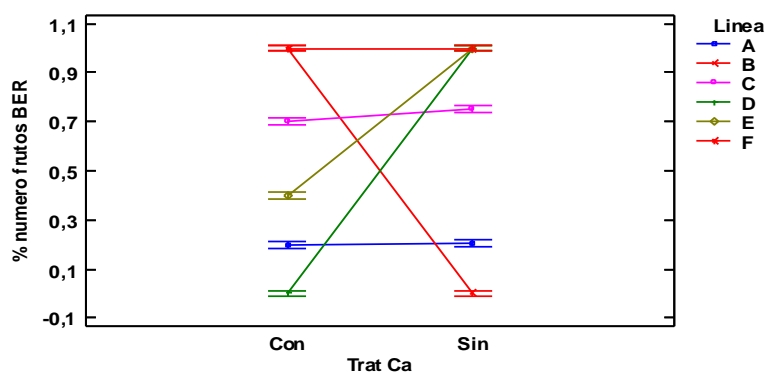
(Bar-tal & Aloni, 2005) mostraron que, la absorción de calcio y el transporte en planta es fuertemente dependiente de transpiración, por ejemplo: el aire que fluye sobre los racimos de uvas reduce la incidencia de BER.

(Bradfield & Guttridge, 1984) encontraron que, la concentración del calcio en los tejidos de la pared del segmento distal de frutos dañados por BER era 0,03% de materia seca. Demostraron que los frutos sanos contenían más del 0,07% de calcio, mientras que aquellos con BER contenían menos de 0,05% de Ca²⁺.

En caso del agrietado del tomate; el tipo de Pera, muestra una resistencia inmejorable a esta fisiopatía, dado que ninguna línea manifiesta sintomatologías por Cracking, tanto para la solución nutritiva "Con" como "Sin", a excepción de la línea F, en la cual para el total de frutos a los que se aportan mayores abonos cálcicos, el 100% de éstos presentan agrietados concéntricos o radiales, característicos de Cracking (Gráfica 14).



Gráfica 13: ANOVA para el porcentaje de número de frutos con Cracking para las líneas.



Gráfica 14: Interacción entre el porcentaje de número de frutos con BER, y las líneas según el tratamiento recibido.

De la (Gráfica 14), concluimos que el porcentaje de número de frutos con BER es generalmente mayor para los frutos que no reciben un aporte adecuado de calcio, y en las líneas F, C y A se produce igual Cracking para ambos tratamientos.

Hay que tener en cuenta según (Domínguez et al., 2012), que el Cracking se produce por desequilibrios hídricos (exceso o déficit de humedad), y por diferencias bruscas de temperaturas. Cuando las condiciones vuelven a ser favorables, el fruto retoma el crecimiento intentando expandirse y se produce el rajado ya que, tras el período de crecimiento reducido, la epidermis se ha endurecido y está menos elástica, lo que dificulta su propia expansión.

8. CONCLUSIONES

Sobre la sensibilidad de los tipos culturales, se concluye:

- Los tipos culturales más eficientes en el uso de calcio, presentando menos síntomas de BER son, en orden ascendente: Cherry > Daniela > Grueso > Marmande > Pera.
- Los tipos culturales más sensibles al Cracking, en orden ascendente son: Marmande > Grueso > Daniela > Pera > Cherry presentando éste último una ausencia total de esta fisiopatía.
- Los tipos Marmande y Daniela presentan mayor porcentaje de nº de frutos con Cracking para el tratamiento deficitario en Ca. Los tipos Pera y Grueso presentan mayor porcentaje de nº de frutos con Cracking para el tratamiento con suficiente Ca.

Sobre la sensibilidad de las líneas, se concluye:

- En Cherry, todos los frutos que presentan BER, pertenecen a la línea B y al tratamiento con Ca deficiente.
- En los tipos Daniela y Grueso, las líneas en con mayor sensibilidad al BER son: D y A. las líneas B y C no presentan BER, incluso en condiciones de Ca deficiente
- En los tomates tipo Pera, las líneas más sensibles al BER son, en orden ascendente: F > C > E > D=B > A.
- En tipo Marmande, las líneas en orden ascendente de sensibilidad al BER son: C > D > F > E > B > A.
- En Daniela, las líneas con más porcentaje de superficie de Cracking, en orden ascendente son: D > B > C > A.
- En Grueso, las líneas con más porcentaje de superficie de Cracking, en orden ascendente son: D > C > A > B.
- En los cultivares de los tipos Cherry y Pera, todas las líneas son resistentes al Cracking, (excepto la línea F de Pera).
- En Marmande, las líneas con más porcentaje de frutos con Cracking, en orden ascendente son: A=B=E > C > D > F.

Sobre la eficiencia en el uso del calcio, se concluye:

- En cada Tipo cultural, hay líneas de mejora más susceptibles a los trastornos fisiológicos BER y/o Cracking Estas diferencias están relacionadas con su eficiencia en la utilización del calcio.
- Los aportes cálcicos adecuados originan un mayor crecimiento y desarrollo de órganos (tallos más gruesos y mayor superficie foliar). Este aumento depende de la capacidad genética y de la eficiencia en la asimilación del calcio de cada línea estudiada.

9. BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, P., & García-Sancho, J. (2000). Differential calcium responses to the pituitary adenylate cyclase-activating polypeptide (PACAP) in the five main cell types of rat anterior pituitary. *Pflgers Archiv European Journal of Physiology*, 440(5), 685–691. <http://doi.org/10.1007/s004240000368>
- Amaral, J. F. T. do, Martinez, H. E. P., Laviola, B. G., Fernandes Filho, E. I., & Cruz, C. D. (2011). Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41(4), 621–629. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79957608018&partnerID=tZOtx3y1>
- Baligar, V. C., & Fageria, N. K. (2015). *Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances*. (A. Rakshit, H. B. Singh, & A. Sen, Eds.) *Nutrient Use Efficiency: From Basics to Advance*. New Delhi: Springer India. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84940199536&partnerID=tZOtx3y1>
- Bar-tal, A., & Aloni, B. (2005). Effects of Fertigation Regime on Blossom End Rot of Vegetable Fruits, 130–145.
- Berner, E. K., Berner, R. A., & Moulton, K. L. (2003). Plants and Mineral Weathering: Present and Past. In *Treatise on Geochemistry* (Vol. 5–9, pp. 169–188). <http://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05175-6>
- Borlaug, N. E. (2000). Ending World Hunger. The Promise of Biotechnology and the Threat of Antiscience Zealotry. *PLANT PHYSIOLOGY*, 124(2), 487–490. <http://doi.org/10.1104/pp.124.2.487>
- Bradfield, E. G., & Guttridge, C. G. (1984). Effects of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. *Scientia Horticulturae*, 22(3), 207–217. [http://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90054-2](http://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90054-2)
- Cadahia, C. (2005). Fertirrigación en cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, 1–330.
- Chaparro- Torres, L. A., Sánchez, A., Guzmán, M., & Valenzuela, J. L. (2009). La relación Ca/K en el fertirriego. Su efecto sobre la calidad de frutos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill cv. Raf). *III Jornadas Del Grupo de Fertilización de La SECH*.
- Coltman, R. R., Gerloff, G. C., & Gabelman, W. J. (1985). Differential tolerance of tomato strains to maintained and deficient levels of phosphorus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110, 140–144.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-
-

- Bermúdez, A., & Juárez-López, P. (2013). Sustratos en la horticultura substrates in horticulture. *Revista Biociencias*, 2(2), 17–26.
- Dobermann, A. (2007). Nutrient use efficiency—measurement and management. In *IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices, Brussels, Belgium, 7-9 March 2007* (p. 28). Retrieved from http://sustainablecropnutrition.net/ifacontent/download/7163/113016/version/1/file/2007_IFA_FBMP+Workshop_Brussels.pdf#page=8
- Domínguez, E., Fernández, M. D., Hernández, J. C. L., Parra, J. P., España, L., Heredia, A., & Cuartero, J. (2012). Tomato fruit continues growing while ripening, affecting cuticle properties and cracking. *Physiologia Plantarum*, 146(4), 473–486. <http://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01647.x>
- Evenson, R. E., & Gollin, D. (2003). Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science (New York, N.Y.)*, 300(5620), 758–62. Retrieved from <http://science.sciencemag.org/content/300/5620/758.abstract>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Li, Y. C. (2008). The Role of Nutrient Efficient Plants in Improving Crop Yields in the Twenty First Century. *Journal of Plant Nutrition*, 31(6), 1121–1157. <http://doi.org/10.1080/01904160802116068>
- García, F. O. (2008). Dinámica de nutrientes en el sistema suelo – planta Nitrógeno, (Cl).
- Gil, H. M., Bota, J., Llompart, J. C., Flexas, J., & León, J. G. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, (43), 63–84.
- Good, A. G., Shrawat, A. K., & Muench, D. G. (2004). Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? *Trends in Plant Science*, 9(12), 597–605. <http://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.10.008>
- Goron, T. L., & Raizada, M. N. (2015). Genetic diversity and genomic resources available for the small millet crops to accelerate a New Green Revolution. *Frontiers in Plant Science*, 6(MAR), 157. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84928015153&partnerID=tZOtx3y1>
- Gourley, C. J. P., Allan, D. L., & Russelle, M. P. (1994). Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil*, 158(1), 29–37. <http://doi.org/10.1007/BF00007914>
- Gutschick, V. P. (1993). Nutrient-limited growth rates: Roles of nutrient-use efficiency and of adaptations to increase uptake rate. *Journal of Experimental Botany*, 44(1), 41–51. <http://doi.org/10.1093/jxb/44.1.41>
-

- Guzman, M. (2004). Ferti-riego en sistemas de producción ©. *CYTED 2004, FERTIRIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA*, 39–48.
- Haynes, B., Koide, R. T., & Elliott, G. (1991). Phosphorus uptake and utilization in wild and cultivated oats (avena spp.). *Journal of Plant Nutrition*, 14(10), 1105–1118. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0007664547&partnerID=tZOtx3y1>
- Ho, L. C., & White, P. J. (2005). A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany*. <http://doi.org/10.1093/aob/mci065>
- Horst, W. J., Curre, C., & Wissemeier, A. H. (1992). Differences in calcium efficiency between cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars. *Plant and Soil*, 146(1–2), 45–54. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0001775699&partnerID=tZOtx3y1>
- La, S. D. E., & Del, F. (n.d.). fertilización de praderas permanentes para la producción de leche, (148).
- Lazcano, I. (2000). Deficiencia de calcio en tomate. *Informaciones Agronómicas*, (39), 7–8.
- Lichter, A., Dvir, O., Fallik, E., Cohen, S., Golan, R., Shemer, Z., & Sagi, M. (2002). Cracking of cherry tomatoes in solution. *Postharvest Biology and Technology*, 26(3), 305–312. [http://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00061-3](http://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00061-3)
- Liebisch, F., Max, J. F. J., Heine, G., & Horst, W. J. (2009). Blossom-end rot and fruit cracking of tomato grown in net-covered greenhouses in Central Thailand can partly be corrected by calcium and boron sprays. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 140–150. <http://doi.org/10.1002/jpln.200800180>
- Mansour, A., Ismaili, H. M., Ramadan, M. F., & Gyulai, G. (2009). Variations in tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars grown under heat stress. *J. Verbr. Lebensm.*, 4, 118–127. <http://doi.org/10.1007/s00003-009-0474-5>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Morales, I., Álvaro, J. E., & Urrestarazu, M. (2013). Contribution of thermal imaging to fertigation in soilless culture. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 116(2), 1033–1039. <http://doi.org/10.1007/s10973-013-3529-x>
- Nonami, H., Fukuyama, T., Yamamoto, M., Yang, L., & Hashimoto, Y. (1995). Blossom end rot may not be directly caused by calcium deficiency. *Acta Horticulturae*, 396, 107–114.
- Ranc, N., Muños, S., Santoni, S., & Causse, M. (2008). A clarified position for *Solanum*
-

- lycopersicum var. cerasiforme in the evolutionary history of tomatoes (solanaceae). *BMC Plant Biology*, 8, 130. <http://doi.org/10.1186/1471-2229-8-130>
- Riley, M. M., Adcock, K. G., & Bolland, M. D. A. (1993). A small increase in the concentration of phosphorus in the sown seed increased the early growth of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 16(5), 851–864. <http://doi.org/10.1080/01904169309364579>
- Saure, M. C. (2001). Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - A calcium- or a stress-related disorder? *Scientia Horticulturae*, 90(3–4), 193–208. [http://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00227-8](http://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00227-8)
- Torrellas, M., Antón, A., Montero, J. I., Baeza, E., López, J. C., & Pérez Parra, J. (2011). Estudio del impacto ambiental del cultivo de tomate en un invernadero multitúnel. *Horticultura*, 294, 22–29.
- van de Wiel, C. C. M., van der Linden, C. G., & Scholten, O. E. (2015). Improving phosphorus use efficiency in agriculture: opportunities for breeding. *Euphytica*, 207(1), 1–22. <http://doi.org/10.1007/s10681-015-1572-3>
- Vose, P. B. (1983). Rationale of selection for specific nutritional characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris* L. as a case study. *Plant and Soil*, 72(2–3), 351–364. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0020929957&partnerID=tZOtx3y1>
- Yuan, Z. Y., Chen, H. Y. H., & Li, L. H. (2008). Nitrogen use efficiency: Does a trade-off exist between the N productivity and the mean residence time within species? *Australian Journal of Botany*, 56(3), 272–277. <http://doi.org/10.1071/BT07139>