

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

EFFECTO DEL SILICIO SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD DE PLANTAS DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum*)
TIPO RAF EN CULTIVO SIN SUELO

Mención: Tecnología específica en hortofruticultura y
jardinería

Modalidad: Trabajo técnico-experimental

Curso 2019/2020

Alumno/a:

Jose Manuel Giménez Martínez

Director/es:

Miguel Urrestarazu Gavilán

Yasmina Chourak



Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

ÍNDICE

1. INTERÉS Y OBJETIVOS	4
1.1. Importancia del cultivo de tomate	4
1.1.1. Situación a nivel nacional	4
1.1.2. Situación a nivel autonómico	6
1.1.3. Situación a nivel provincial	8
1.2. Interés de la investigación	8
1.3. Objetivos	9
2. MEMORIA DESCRIPTIVA	10
2.1. Sistemas de cultivos sin suelo	10
2.1.1. Conceptos que considerar	10
2.1.2. Sustrato empleado (Fibra de coco).....	11
2.1.3. Importancia y evolución del cultivo sin suelo en España	12
2.2. El silicio	14
2.2.1. Importancia del silicio	14
2.2.2. Absorción y modo de aplicación	15
2.2.3. Beneficios para las plantas	16
2.3. El cultivo de tomate	17
2.3.1. Taxonomía y morfología	17
2.3.2. Exigencias climáticas del cultivo	18
2.3.3. Fertirrigación	19
2.3.4. Material vegetal	20
2.3.5. Parámetros de calidad	22
2.4. El tomate RAF	25
2.4.1. Origen y descripción	25
2.4.2. Manejo del cultivo	26
2.4.3. Rendimientos	28
2.4.4. Variedades tipo RAF	28
3. FASES DE DESARROLLO Y CRONOGRAMA ASOCIADO	30
4. MATERIAL Y MÉTODOS	31
4.1. Emplazamiento del ensayo	31
4.2. Sistema de fertirriego	31
4.3. Unidad de cultivo	33

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

4.4. Riego y drenajes	33
4.5. Evaluación de la calidad de agua de riego utilizada y solución nutritiva.....	34
4.5.1. Agua de riego.....	34
4.5.2. Disolución nutritiva	35
4.6. Material vegetal	35
4.7. Manejo agronómico del cultivo.....	36
4.7.1. Técnicas de cultivo	36
4.7.2. Seguimiento y control del cultivo	39
4.8. Diseño experimental.....	39
4.9. Métodos de análisis	40
4.9.1. Parámetros del fertirriego	40
4.9.2. Producción y clasificación de frutos	41
4.9.3. Parámetros fisiológicos de la planta	43
4.9.4. Parámetros de calidad del fruto	45
5. EXPLICACIÓN DE CÓMO SE HAN INTEGRADO LAS DIFERENTES COMPETENCIAS ADQUIRIDAS EN LAS ENSEÑANZAS DE LA TITULACION EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	49
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
6.1. Parámetros del fertirriego	50
6.2. Parámetros fisiológicos de la planta	52
6.3. Producción y clasificación de frutos	53
6.4. Parámetros de calidad de los frutos.....	55
7. CONCLUSIONES	58
8. BIBLIOGRAFÍA.....	59

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1.1. Importancia del cultivo de tomate

1.1.1. Situación a nivel nacional

El tomate es una especie hortofrutícola de alto valor económico, muy consumida en España y en todo el mundo. El MAPA muestra que la superficie de tomate (*Solanum lycopersicum*) en España en el año 2018 fue de 56,1 mil ha (MAPA, 2019).

En los últimos años la superficie de tomate en España ha tenido grandes variaciones, actualmente se está produciendo un descenso de la superficie cultivada (Figura 1.1), debido al aumento de los costes de producción, la creciente competencia con otros países y la proliferación de plagas como la *Tuta absoluta*, que está complicando el cultivo del tomate principalmente en Almería, provocando bajadas de rendimientos y beneficios (Diario de Almería, 2020).

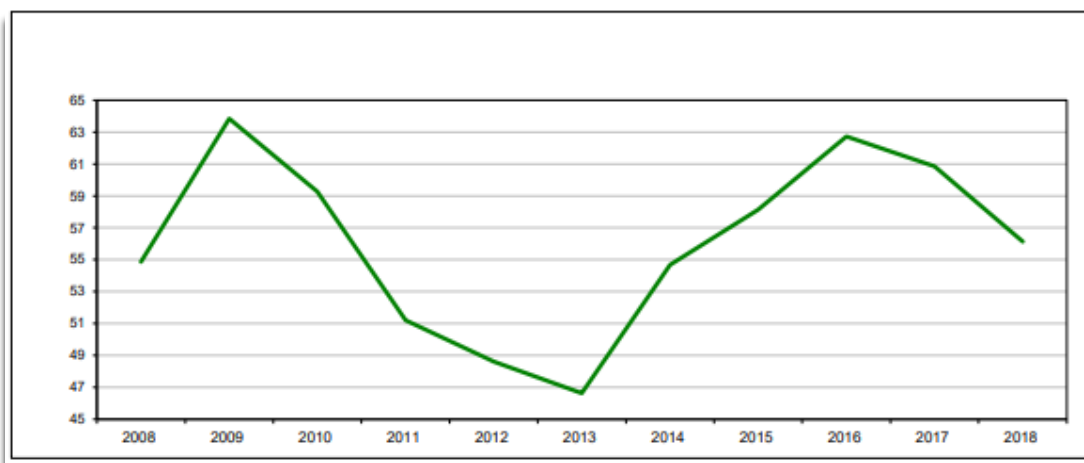


Figura 1.1: Evolución de la superficie de tomate en miles de hectáreas a nivel nacional. Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Anuario de Estadística 2019.

La superficie cultivada de tomate es diferente dependiendo de las comunidades autónomas. El MAPA muestra que la mayor parte la ocupa Extremadura y Andalucía, con un 41% y 43% respectivamente de la superficie total (Figura 1.2). En Extremadura prácticamente en su totalidad (22.000 ha) se cultiva al aire libre y cuya producción va destinada a la industria con un valor comercial más bajo, en Andalucía de las 22.000 ha cultivadas, unas 14.000 son en cultivo en invernadero principalmente en la provincia de Almería (MAPA, 2019).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

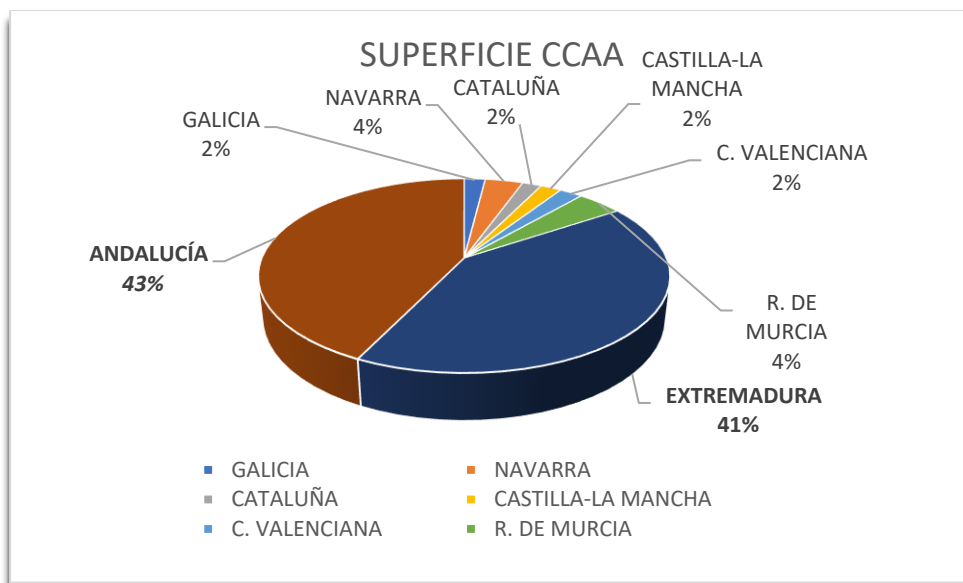


Figura 1.2: Distribución por comunidad autónoma de la superficie de tomate. Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Anuario de estadística 2019.

El MAPA muestra que la producción de tomate ha ido variando durante los últimos años hasta alcanzar valores de 4,7 millones de toneladas en el año 2018 (MAPA, 2019), existe una producción creciente con respecto a 2008, influida obviamente por el aumento de la superficie cultivada, aunque la producción actualmente está descendiendo debido a la disminución actual de la superficie cultivada, se puede observar que la tendencia de las gráficas de producción y superficie son similares (Figuras 1.1 y 1.3)

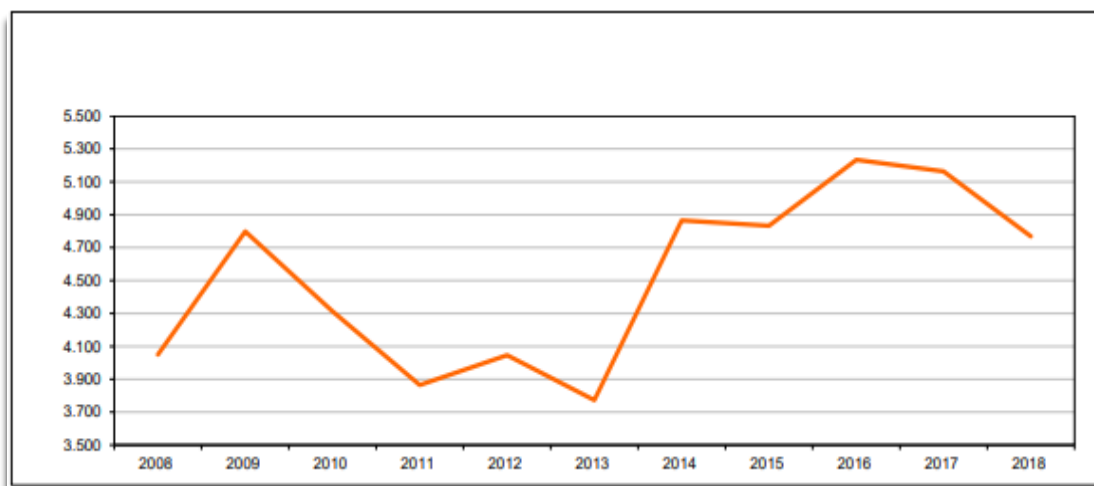


Figura 1.3: Evolución de la producción de tomate en miles de toneladas. Fuente: Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Anuario de estadística 2019.

El valor del tomate se ha visto incrementado en los últimos años, hasta 2017 (Figura 1.4), este incremento se debe a un aumento considerable en la producción, ya que los precios en origen del tomate han ido descendiendo progresivamente a lo largo de los años (Tabla 1.1) debido principalmente al exceso de producción y a la competencia con otros países

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

productores, por esto y la bajada de la superficie cultivada su valor está disminuyendo actualmente.

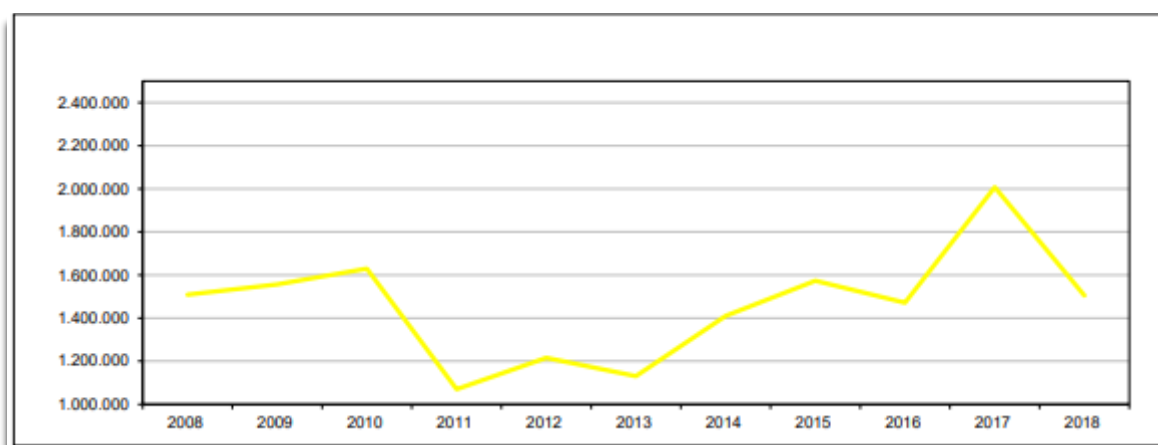


Figura 1.4: Evolución del valor del tomate en miles de euros. Fuente: Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Anuario de estadística 2019.

Precios en origen tomate. Cat I										
Campaña	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16
Asurcado	1,26	1,05	1,46	1,13	0,93	1,01	1,04	0,87	0,96	0,86
Larga Vida	0,66	0,49	0,50	0,63	0,44	0,50	0,53	0,49	0,53	0,44
Liso	0,61	0,44	0,62	0,66	0,43	0,44	0,46	0,43	0,56	0,42
Pera	0,61	0,48	0,52	0,47	0,42	0,54	0,48	0,49	0,47	0,45
Rama	0,74	0,54	0,59	0,68	0,54	0,61	0,62	0,59	0,60	0,55
Cherry redondo			1,02	0,93	1,12	0,95	1,04	1,03	0,97	0,98
Cherry rama			0,91	0,85	0,99	1,02	1,00	0,99	0,92	0,83
Cherry pera			1,23	1,28	1,32	1,20	1,18	1,14	1,10	1,01
Todos	0,71	0,53	0,62	0,71	0,58	0,64	0,66	0,62	0,62	0,58

Tabla 1.1: Evolución precio en origen (€) del tomate en los últimos años. Fuente: (Hortoinfo, 2017).

1.1.2. Situación a nivel autonómico

El MAPA muestra que la superficie correspondiente a Andalucía es de 22.234 ha. La provincia con mayor superficie cultivada es Almería con 10.380 ha (MAPA, 2019), seguida de Sevilla y Granada con 5.006 ha y 4.073 ha respectivamente (Figura 1.5). La mayor producción de tomate en el año 2018 se centró en la provincia de Almería con un valor de 996.254 Tm,

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

representando el 51% del total, seguida de Sevilla con 483.167 Tm de producción y de Granada con 367.612 Tm, con un 25% y 19% respectivamente (Figura 1.6).

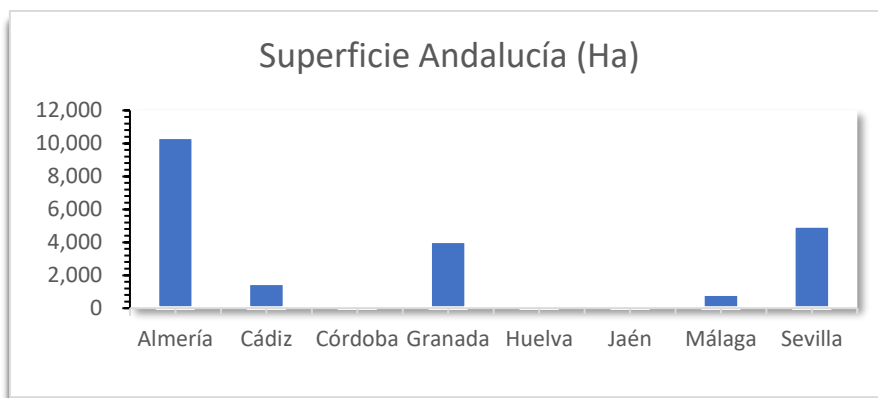


Figura 1.5: Distribución de la superficie de tomate por provincias en Andalucía. Fuente: Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Anuario de estadística 2019.

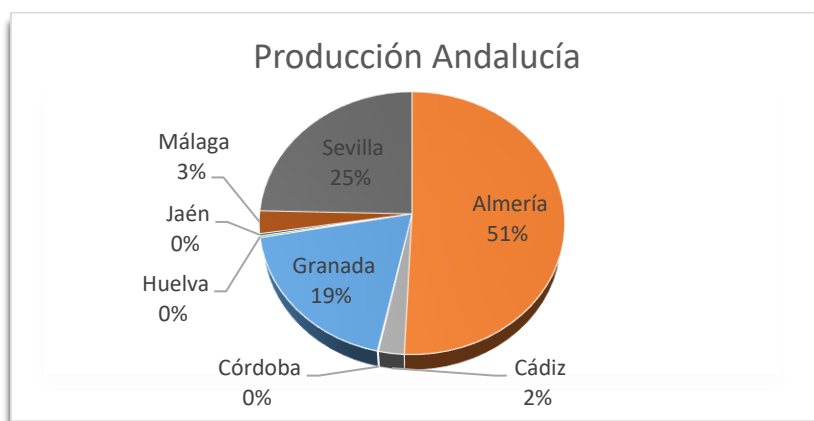


Figura 1.6: Distribución de la producción de tomate por provincias en Andalucía. Fuente: Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Anuario de estadística 2019.

El MAPA muestra que la provincia con mayor superficie de tomate en invernadero es Almería con prácticamente su totalidad en superficie cultivada (10.311 ha) seguida de Granada y Málaga (Figura 1.7), es por esto por lo que es la provincia con una mayor producción debido a una mayor intensificación del cultivo (MAPA, 2019).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

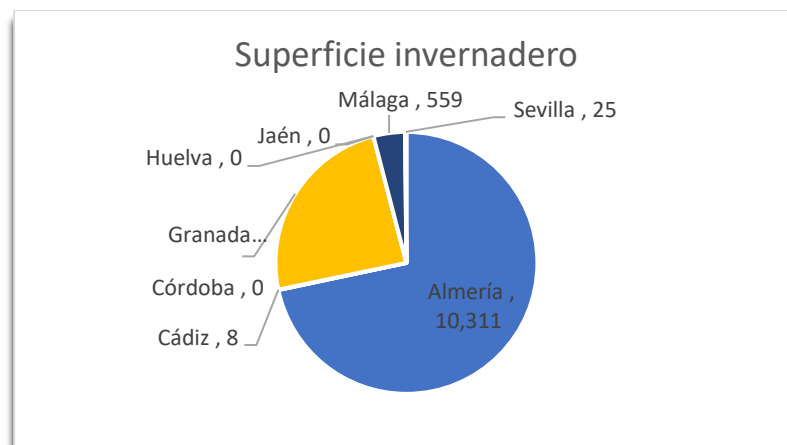


Figura 1.7: Distribución de la superficie de tomate invernada en Andalucía. Fuente: Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Anuario de estadística 2019.

1.1.3. Situación a nivel provincial

La provincia de Almería es la mayor productora y comercializadora de tomate, tanto en España como en toda Europa con una producción anual de 996.254 Tm y un rendimiento de aproximadamente 10 kg m^{-1} . La producción de tomate en invernadero se concentra en la provincia de Almería, en tres zonas, en las zonas de El Alquíán- La Cañada, el Campo de Níjar y en el poniente almeriense, aunque en menor proporción.

El MAPA muestra que existe una superficie de unas 45.000 ha de cultivo en invernadero de las cuales como hemos visto anteriormente unas 10.000 ha están destinadas al cultivo de tomate (MAPA, 2019).

Cabe destacar que en Almería existen unas 5000 ha que están destinadas al cultivo sin suelo (tipo de cultivo empleado en el experimento) en diferentes sustratos o en cultivo hidropónico puro, este incremento de la superficie de cultivo sin suelo viene acompañado de las mejoras de tecnificación e infraestructuras de fertirriego, estas mejoras explican el aumento de la productividad en los cultivos hortícolas. (Urrestarazu, 2015).

1.2. Interés de la investigación

El silicio es un elemento beneficioso para las plantas porque actúa como nutriente mejorando su asimilación y porque refuerza sus defensas ante el estrés abiótico, enfermedades o condiciones adversas. La calidad, dosis y forma de manejo de los productos que contienen silicio en su formulación es la que puede justificar un éxito de su funcionamiento frente a la protección de plagas y enfermedades, pero también sobre el vigor tanto en la producción de biomasa vegetal como en los frutos. (Labin Fertilisil, 2019).

El tomate RAF es un tomate tradicional tipo marmande que se ha cultivado sobre todo en las vegas del levante almeriense, caracterizadas por aguas normalmente salinas y por poseer un microclima óptimo para este cultivo. Es un tomate con alta y equilibrada presencia de azúcares y acidez, pleno de sales minerales y sustancias aromáticas que hacen inconfundible su sabor, carnoso, con pocas semillas ni agua, unido a una coloración verde

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

oscura con hombro casi negro que lo caracteriza y distinguen de otras variedades, alcanzando precios en origen muy elevados.

El cultivo de tomate RAF supone una parte pequeña en superficie de toda la superficie de invernaderos en Almería, unas 500 ha en total (Infoagro,2007), es un tomate de temporada corta, con fechas de producción que van desde finales de noviembre hasta finales de mayo.

1.3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el efecto de la adición de silicio (Labin Fertil) en la solución nutritiva utilizada en plantas de tomate tipo RAF injertadas cultivadas en fibra de coco. Siendo los objetivos específicos los siguientes:

1. Evaluar el efecto de silicio sobre el desarrolló vegetativo del cultivo de tomate RAF de alto valor económico.
2. Evaluar el efecto del silicio y medir la eficiencia en el uso de insumos sobre agua y nutrientes (macronutrientes).
3. Evaluar el efecto de la aplicación de Si sobre la contaminación al medio ambiente sobre las emisiones de nitratos y otras sales nutritivas en el cultivo.
4. Evaluar la productividad total y comercial de uso de Si sobre el cultivo del tomate RAF.
5. Evaluar el efecto sobre los parámetros de calidad del tomate RAF cuando se usa el Si como elemento nutricional en el fertirriego.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. Sistemas de cultivos sin suelo

2.1.1. Conceptos que considerar

Concepto "cultivo sin suelo"

El cultivo sin suelo es un sistema de cultivo en el cual, la planta crece fuera de su ambiente natural, en un medio distinto del suelo (sólido o líquido) confinado en un espacio limitado y aislado. Debemos diferenciar entre un cultivo hidropónico puro y un cultivo en sustrato. Los cultivos sin suelo se pueden clasificar según el siguiente esquema (Urrestarazu, 2015).

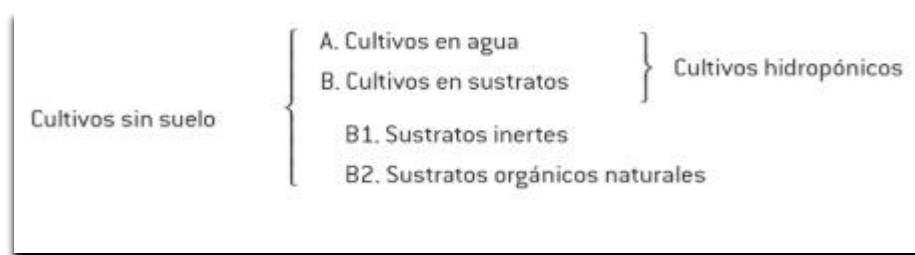


Figura 2.1: Esquema tipos de cultivo sin suelo. Fuente: (Urrestarazu,2015).

Concepto sustrato

En horticultura, la palabra sustrato se aplica a todo material sólido distinto del suelo, natural, sintético o residual, orgánico o mineral, colocado en un contenedor o saco, permite el anclaje del sistema radical desempeñando un papel de soporte para la planta. Dependiendo del material del sustrato, pudiendo ser químicamente activo o inerte, puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta (Abad, 1991).

Concepto hidroponía

Etimológicamente, el termino hidropónico viene del griego "hidro". Que significa agua, y "ponis", que significa trabajo. El concepto hidropónico se utiliza actualmente a tres niveles distintos dependiendo del interlocutor, cada uno de los cuales engloba al anterior:

- Cultivo hidropónico puro, es aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sistema radical en medio exclusivamente líquido, en el que van disueltos todos los elementos nutritivos que precisa la planta, sin ningún tipo de sustrato sólido.
- Cultivo hidropónico según la tendencia mayoritaria, es utilizado para referimos al cultivo en agua (acuicultura) o en sustratos sólidos más o menos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la disolución nutritiva.
- Cultivo hidropónico en su concepción más amplia, engloba a todo sistema de cultivo en el que las plantas completan su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear el suelo, suministrando la nutrición hídrica y la totalidad o parte de la nutrición mineral mediante una solución en la que van disueltos los diferentes nutrientes esenciales para

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

su desarrollo. El concepto es equivalente al de "cultivos sin suelo", y supone el conjunto de cultivo en sustrato más el cultivo en agua.

El cultivo semihidropónico se define como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo natural, aunque usando un suelo inerte, tales como la grava, arena, perlita, vermiculita, serrín, fibra de coco, a los que se le añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesarios por la planta para su normal crecimiento y desarrollo (Resh,1992).

Desde un punto de vista práctico, los cultivos hidropónicos pueden clasificarse en: cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico) (Abad y Noguera, 2004).

2.1.2. Sustrato empleado (Fibra de coco)

Un sustrato es el medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo. En sistemas hidropónicos, presenta un volumen físico limitado, debe encontrarse aislado del suelo y tiene como funciones mantener la adecuada relación de aire y solución nutritiva para proporcionar a la raíz el oxígeno y los nutrientes necesarios, y en el caso de sustratos sólidos ejercer de anclaje de la planta. No existe el sustrato ideal, cada uno presenta una serie de ventajas e inconvenientes y su elección dependerá de las características del cultivo a implantar y las variables ambientales y de la instalación (Infoagro, 2020).

La fibra de coco procede de una drupa de la especie *Cocos nucifera* L. consta de un mesocarpo que usa industrialmente para extraer fibras, que generan una gran cantidad de polvo y residuos. Este polvo es usado como sustrato en el cultivo de ornamentales (Abad et al, 1997, de Grimwood et al, 1977). La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93 % (vol.).

Tiene una aceptable capacidad de retención de agua y la relación aire-agua están lineal y estrechamente relacionadas con el tamaño de sus partículas. La relación C/N es superior a la de la turba Sphagnum y los niveles de asimilación de nutrientes son bajos, 38 excepto para el fósforo y el potasio. Como inconveniente hay que destacar la lentitud en cuanto a su hidratación (Urrestarazu, 2004).

Características físico- químicas de varias muestras de fibra de coco:

Propiedad	Intervalo	Fibra de coco Mediana
Índice de grosor (%)	11-66	34,0
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,020-0,094	0,059

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Espacio poroso total (% vol.)	93,8-98,7	96,1
Capacidad de aireación (% vol.)	22,2-90,5	44,9
Agua fácilmente disponible (% vol.)	0,7-36,8	19,9
Agua de reserva (% vol.)	0,1-7,8	3,5
Capacidad de retención de agua (ml L ⁻¹)	110-797	5,23
Contracción (% vol.)	n.d,x-28	14
pH (pasta saturada)	4,76-6,25	5,71
CE (dS m ⁻¹)	0,39-6,77	3,52
CIC (me 100 g ⁻¹)	31-97	61
Materia orgánica total (%)	88,6-95,7	93,8
Extracto de saturación (ppm)	74-197	132

X: No detectable

Y: % en peso de partículas con $\phi > 1$ mm

Tabla 2.1: Intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas de trece muestras de fibra de coco con orígenes diferentes Fuente: (Abad et al, 1997).

La fibra de coco es un material orgánico y su proceso de fabricación forma parte de una gran industria que emplea al mismo como material base. De este modo, el empleo de esta fibra no supone una alerta patógena contra el medio ambiente. La fibra de coco es un excelente sustrato para el desarrollo radicular; de hecho, es posible tratar directamente con ella sin necesidad de emplear tratamientos o agentes especiales para la siembra o depósito de los plantines de pascua. A diferencia de otros tipos de medio de cultivo, la fibra de coco mantiene una elevada capacidad de aireación incluso cuando está completamente saturada. Dispone de una capacidad de amortiguación (efecto buffer o tampón), que permite a las plantas superar sin consecuencias cortos períodos de deficiencias nutricionales y/o hídricas (Paulitz, 2001).

2.1.3. Importancia y evolución del cultivo sin suelo en España

El gran crecimiento de los cultivos protegidos se produce en los años sesenta con la difusión de los plásticos como material de cubierta en los invernaderos, además, el desarrollo de la tecnología asociada a sistemas de riego localizado, la incorporación de los programadores de riego, el desarrollo de distintos sustratos inertes, etc. ha permitido la implantación de los sistemas de cultivo sin suelo. Este impulso se reactiva con la necesidad de aumentar la productividad agraria para garantizar el abastecimiento alimentario. Otra de las razones que justifican el aumento de la superficie hidropónica es sin duda el aspecto económico. Introducir en un invernadero cualquier tipo de cultivo sin suelo hace unos 20 años

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

era más caro que la puesta en marcha de un enarenado almeriense tradicional, en la actualidad esto ha cambiado de forma que es igual de viable, cuanto no más barato, el establecimiento de cualquier tipo de sistema de cultivo sin suelo. Durante los últimos años, la superficie de cultivos sin suelo en el sudeste español se ha visto incrementada, asociada a la construcción de nuevos invernaderos con mejora en la tecnificación e infraestructuras del fertirriego.

En España en 1980 se instala en Almería una finca experimental con el sistema NFT. En 1983-84 se inician los primeros desarrollos con lana de roca. En 1985 se realizan trabajos conducentes al estudio de nuevos sustratos substitutivos de "lana de roca", debido principalmente a su elevado precio, mediante el uso de arenas síliceas, calcáreas y turbas (Martínez y García, 1993). En la campaña 1985-86 se estimaba en unas 35 ha la superficie en sistemas de cultivo sin suelo.

El crecimiento de la superficie destinada a los cultivos sin suelo en la última década ha sido espectacular, pasando de 200 ha cultivadas durante la campaña 1988-89 a las aproximadamente 3.600 ha de cultivos sin suelo de hortalizas cultivadas en toda España durante la campaña 1999-2000. En los últimos años, el área estimada de cultivo sin suelo en España es aproximadamente 5.500 ha (Figura 2.2).

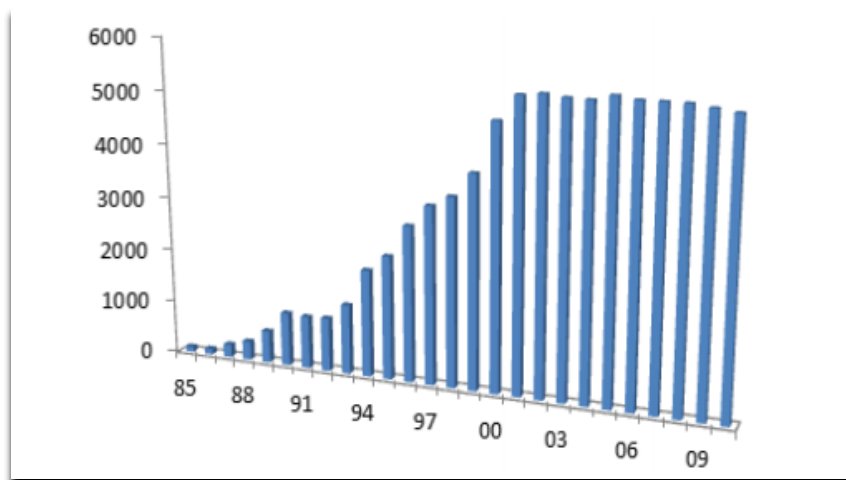


Figura 2.2: Superficie de cultivo sin suelo (ha) en el sureste de España en los últimos años. Fuente: (Urrestarazu, 2013).

Con respecto a las nuevas tecnologías, el uso de sustratos alternativos orgánicos como residuos de cáscara de almendra (Urrestarazu et al., 2005a), compost y fibra de coco (Urrestarazu et al., 2003; Mazuela et al., 2004) y fibra de madera (Urrestarazu et al., 2005b; Domeño et al., 2009, 2011); y el uso de nuevos sustratos inorgánicos (arcilla expandida, vermiculita, etc.) en sistemas hidropónicos como NFT o NGS (Urrestarazu et al., 2005c). NGS se basa en una nueva estructura para canales de cultivo de plástico, este sistema para el cultivo sin suelo, conocido como New Growing Systems (NGS), se ha desarrollado en el área de Pulpí (España). Cada canal de crecimiento NGS tiene cinco capas de plástico y una gran cantidad de agujeros Incluye un gotero cada 0.5 m sobre la primera capa de plástico, y cada

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

gotero suministra la solución nutritiva que fluye desde la segunda capa sobre la primera hasta el extremo (Figura 2.3).

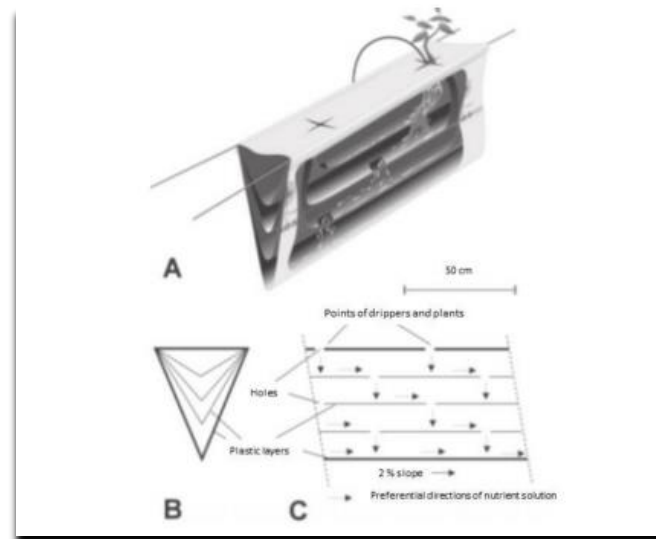


Figura 2.3: Sistemas NGS (Nuevos sistemas de cultivo). (A) Vista general, (B) Transversal y (C) sección longitudinal de un canal. Fuente: (Urrestarazu et al., 2005c).

En la práctica, este sistema cerrado se utiliza en el sureste español para una pequeña proporción de la superficie. Sin embargo, entre los sistemas más nuevos, solo la fibra de coco parece ocupar una superficie significativa con un área similar a la de los tres medios de cultivo clásicos (lana mineral, perlita y arena) que tradicionalmente se han utilizado desde los inicios en el sureste español (Urrestarazu, 2013).

La mayor concentración de sistemas de cultivo sin suelo y horticultura protegida en España se sitúa en el sureste, especialmente alrededor de la provincia de Almería. De hecho, Almería se dice que tiene la mayor concentración de invernaderos del mundo (Urrestarazu, 2013).

2.2. El silicio

2.2.1. Importancia del silicio

El silicio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, aunque la mayor parte se encuentra de forma no soluble, no asimilable por las plantas (Takahashi y Hino, 1978). El silicio está presente en todas las plantas, constituye entre el 0,1% y el 10% de su materia seca, cantidades que exceden en algunos casos a los de otros macronutrientes como el nitrógeno o el potasio (Tisdale et al., 1985; Epstein, 1999).

Se han encontrado cantidades importantes de silicio (más del 1% de la materia seca) en numerosos cultivos importantes.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Cultivo	Nombre científico	Producción mundial (MT) ^a	Concentración de silicio (% peso seco) ^b
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	1838	1,51
Maíz	<i>Zea mays</i>	876	0,83
Arroz de arrozal	<i>Triticum aestivum</i>	735	4,17
Trigo	<i>Oryza sativa</i>	671	2,45
Patatas	<i>Solanum</i> *	370	0,14-0,64
Remolacha azucarera	<i>Amaranthaceae</i> **	270	0,05-2,6
Mandioca	<i>Euphorbiaceae</i> **	266	0,11-0,09
Soja	<i>Glycine max</i>	241	1,4
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	161	1,54
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	133	1,82

Tabla 2.2: Concentración de silicio en diferentes cultivos, * Género, ** Familia. Fuente: ^a (FAO, 2016), ^b (Hodson et al., 2005).

El papel del silicio en el metabolismo de la planta no está del todo claro y no está demostrada su esencialidad como nutriente, pero los múltiples beneficios que supone la fertilización con silicio, especialmente en el cultivo sin suelo, donde este elemento es menos accesible para las plantas, hacen que algunos autores como Sonneveld y Straver (1994) lo consideren un elemento en la solución básico en algunos cultivos (Urrestarazu, 2015).

Se ha descrito una amplia gama de beneficios que aporta el silicio a las plantas y el gran papel que este adquiere como protector antes estreses bióticos y abióticos, haciendo que sea bastante recomendable su adición a la solución nutritiva empleada, especialmente para los cultivos sin suelo, se recomienda el uso de soluciones nutritivas con una concentración de Si de al menos 0,65 mmol para algunos cultivos como tomate, melón, pimiento, entre otros, ya que el Si se considera un elemento que aporta beneficios importantes para las plantas, siendo una herramienta útil para la agricultura sostenible que se demanda en la actualidad (Urrestarazu et al., 2016).

2.2.2. Absorción y modo de aplicación

Las plantas absorben Si por sus raíces en forma de ácido monosilícico, se transporta a través de las plantas vía xilema y distribuido por la planta hacia los órganos con mayores tasas de transpiración, principalmente los brotes (Raven, 2001) se condensa en sílice sólida, y se deposita como sílice amorfa. Cuando la concentración de ácido silícico es muy alta, polimeriza en forma de sílice gel y puede depositarse en las paredes celulares y en los vasos de la xilema.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

El silicio queda en el apoplasto, se condensa y es depositado como silicio amorfo en las paredes celulares, espacios intracelulares, los tricomas (Blackman y Perry, 1968; Epstein, 1999) y en el exterior de las paredes de las células de la epidermis de las plantas, en una capa bajo la cutícula cerosa (Kim et al., 2002; Yoshida, 1981).

El silicio debe considerarse un elemento esencial para el cultivo de tomate (Miyake y Takahashi, 1978). Es bastante inusual un suministro inadecuado de silicio en suelos cultivados, debido a la abundancia de este en toda la corteza terrestre, pero en cultivos hidropónicos las plantas crecen en sustratos inertes, y el suministro de silicio depende exclusivamente de su concentración en el agua de riego utilizada para la preparación de la solución nutritiva, por lo que si su concentración es baja en el agua de riego, podremos añadirle una adición extra de Si a la solución nutritiva (Urrestarazu et al., 2015).

El silicio puede ser aplicado a la solución nutritiva de diferentes formas, como ácido monosilícico, silicatos de potasio, silicatos de calcio, silicatos de calcio o silicatos de sodio. En nuestro experimento utilizaremos un formulado de silicato potásico líquido (Labin Fertilisil) a una concentración 0,6mmol (Urrestarazu et al., 2016).

2.2.3. Beneficios para las plantas

Se han demostrado beneficios para distintas especies vegetales en muchos estudios, tanto en cultivos hidropónicos como en suelo tradicional con la realización de numerosos estudios. Estos beneficios se ponen de manifiesto especialmente cuando las plantas se enfrentan a entornos adversos, con factores abióticos y bióticos (Urrestarazu, 2015). Los efectos profilácticos del silicio son el resultado de las defensas activas y pasivas (Van-Bockhaven et al., 2013).

El silicio puede aportar una amplia gama de beneficios para las plantas:

- Mejora el balance de nutrientes, beneficiando la disponibilidad de fósforo cuando es deficitario y lo limita cuando está en exceso, además mejora la absorción del potasio, nitrógeno y calcio, en resumen, el silicio confiere una capacidad a la planta de usar mejor los recursos disponibles, esto nos permitirá un menor uso de fertilizantes y una agricultura más sostenible.
- Incremento de la resistencia al estrés hídrico y salinidad, con el aumento de la actividad de enzimas antioxidantes, disminuyendo la permeabilidad de las membranas, la transpiración a través de la cutícula y mejorando el balance hídrico de la planta (Romero Aranda et al., 2006). En caso de que el sodio esté en exceso el silicio disminuye su absorción (Guntzer et al., 2012) permitiéndonos así el uso de aguas de mala calidad evitando repercusiones para el rendimiento del cultivo.
- Limitación de absorción de metales cuando se encuentren en exceso, como el cadmio, hierro, manganeso, cadmio, cobre, zinc, arsénico aluminio, reduciendo así los síntomas provocados por la toxicidad de estos (He et al., 2014).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Mejora la rigidez estructural de los tejidos, provocando una mayor resistencia al viento, lluvias, y disminuyendo los daños de la radiación ultravioleta (Balakhnina y Borkowska, 2013).
- Las deposiciones de silicio amorfo refuerzan las paredes celulares y protegen contra los ataques de plagas y herbívoros mediante abrasiones y reduciendo su digestibilidad (He et al., 2014).
- Las Aplicaciones de silicio son efectivas para mejorar la resistencia de la planta frente a enfermedades fúngicas y bacterianas, consiguiendo mejorar las defensas propias de la planta, esto provoca una reducción del uso de fitosanitarios perjudiciales para el medio ambiente y la salud.

En el año 2016 se realizó un estudio en un invernadero de la Universidad de Almería (España) con el objetivo de la evaluación del efecto de la adición de silicio a la solución nutritiva para cultivos de 3 familias diferentes (*Solanaceae*, *Cucurbitaceae* y *Asteraceae*) con una diferente capacidad de acumular Si y llevar a cabo la investigación del crecimiento vegetativo, desarrollo de la cutícula, y la resistencia a la enfermedad causada por *Botrytis cinérea* (Urrestarazu et al., 2016).

En el estudio citado anteriormente se llegó a la conclusión de que con la adición de silicio se muestra un aumento en el crecimiento vegetativo mayor al 10% en todas las plantas y un aumento en el espesor de la cutícula que proporciona protección contra la penetración de *Botrytis cinérea* en plantas de lechuga y un retraso de la progresión de la enfermedad en las hojas de tomate y pimiento.

2.3. El cultivo de tomate

2.3.1. Taxonomía y morfología

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una especie de planta herbácea del género *Solanum* de la familia *Solanaceae* y especie *Lycopersicon esculentum* Mill; es nativa de América central y México. El tomate es una de las solanáceas más cultivada en el mundo y con gran número de especies silvestres (Reche, 2010).

La planta es perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).

El sistema radicular está formado por una raíz pivotante, raíces secundarias y raíces adventicias. Su desarrollo se ve modificado por las condiciones de cultivo; en el invernadero almeriense, con riego localizado, es más horizontal que vertical y el 70 % de las raíces se encuentran en los 20 primeros centímetros del suelo.

El tallo, es erguido en la primera fase de desarrollo y semierecto o rastrero más adelante por lo que requiere en tutorado. Los laterales son tan vigorosos como el principal y su crecimiento puede ser determinado hasta un número de hojas o indeterminado pudiendo alcanzar hasta 20 m de longitud. Está cubierto de pelos glandulares y las células externas son

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

fotosintéticas. Emite raíces adventicias por lo que el aporcado y el rehundido permiten aumentar el desarrollo radicular.

Las hojas están compuestas, con un número impar de foliolos, se insertan en el tallo de forma alterna y son pilosas y tienen glándulas secretoras de sustancias aromáticas.

La flor es completa, con 5 o más pétalos, 5 o más sépalos y varios carpelos, se presenta en ramilletes con un número variable de flores, sencillos en la parte baja del tallo y en el alta más ramificados. La primera inflorescencia aparece en el tallo a partir de la 5ª hoja y después cada 2 o 3 hojas. La flor del tomate se autopoliniza, pero necesita unas condiciones mínimas de temperatura y humedad para cuajar. Carece de néctar por lo que en caso de necesitar abejorros para la polinización hay que alimentarlos con sustancias azucaradas.

El fruto es una baya carnosa con dos o más cavidades locales. El color al madurar puede ser rojo, rosado o amarillo y la forma puede ser redondeada, achatada o piriforme. La superficie lisa o asurcada. El tamaño es muy variable, con un peso entre 5 a 500 g. según el cultivar. El fruto verde es fotosintético, generando del 10 al 15% de su propio peso. El tiempo necesario para que un ovario fecundado desarrolle un fruto es de 7 a 9 semanas.



Fotografía 2.1: Frutos de tomate tipo RAF.

2.3.2. Exigencias climáticas del cultivo

Tanto la temperatura del suelo como la del ambiente tienen gran incidencia en los procesos de germinación, floración, fecundación y maduración del fruto. Son cuatro las variantes a tener en cuenta: temperatura, humedad, concentración de anhídrido carbónico y luminosidad. Los valores indicados son orientativos debiendo también tener en cuenta, su relación con el resto de las variables climáticas (Reche, 2010).

Temperatura: Diferenciaremos la temperatura del suelo y la del ambiente. La primera influirá principalmente en las fases de germinación y enraizamiento. La segunda influirá sobre la planta, una vez emergida ésta, o después del trasplante sobre el proceso respiratorio y la transpiración. Temperaturas superiores a 35°C pueden causar en las tomatas disminución

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

de la cantidad de polen emitido, menos número de flores, amarilleamiento de los frutos durante la maduración, deshidratación y disminución de la polinización, caída de las flores y menor cuajado. También favorecen el desarrollo de enfermedades como Mildiu, Botrytis y bacteriosis. El frío produce reducción de la cantidad de polen, retraso del crecimiento, deformación de los frutos e impide que estos maduren y tomen color. La temperatura óptima para el desarrollo de la planta oscila entre 20-26°C durante el día y 12-16°C de noche.

Humedad: Influye en el crecimiento y desarrollo de la planta. El cultivo del tomate requiere una humedad ambiental media del 65 al 75 %. Si la humedad relativa es superior al 85 -90 % se reduce la transpiración de las hojas, derivando la presión del agua hacia los frutos provocando su agrietamiento. El exceso de humedad dificulta la polinización al apelmazar los granos de polen y reducir la dehiscencia de las anteras, además de exponer los frutos al ataque de enfermedades aéreas. Si el exceso de humedad se encuentra en el suelo, se crean encharcamientos que podrían provocar una asfixia radicular. Por el contrario, si la humedad es inferior al 50%, la planta transpira en exceso, siendo muy probable un estrés hídrico, se reduce la fotosíntesis y la nutrición.

Luminosidad: Junto a la temperatura y la humedad, son las variables meteorológicas de mayor importancia para la planta. La falta de luz tiende al ahilamiento con alargamiento de los entrenudos de las plantas, sobre todo en los primeros estadios vegetativos. Los niveles altos y continuos de luminosidad contribuyen a la reducción del crecimiento de las hojas y puede provocar el insolado de los frutos.

Anhídrido Carbónico: El carbono es esencial para el desarrollo de las plantas que lo obtienen a través de las estomas, a partir del anhídrido carbónico del aire cuya concentración media es de 300 ppm. (Reche, 2010).

2.3.3. Fertirrigación

En los cultivos protegidos de tomate el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo y va a ser función del estado fenológico de la planta, así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo,

condiciones climáticas, agua de riego, etc.). En cultivo en suelo y en enarenado; el establecimiento del momento y volumen de riego vendrá dado básicamente por los siguientes parámetros (Camacho y Fernández, 2008).

- Tipo de suelo (capacidad de campo, porcentaje de saturación).
- Evapotranspiración del cultivo.
- Eficacia de riego (uniformidad de caudal de los goteros).
- Calidad del agua de riego (a peor calidad, mayores son los volúmenes de agua, ya que es necesario desplazar el frente de sales del bulbo de humedad).

En cultivo hidropónico el riego está automatizado y existen distintos sistemas para determinar las necesidades de riego del cultivo, siendo el más extendido el empleo de

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

bandejas de riego a la demanda. El tiempo y el volumen de riego dependerán de las características físicas del sustrato.

En cuanto a la nutrición, cabe destacar la importancia de la relación N/K a lo largo de todo el ciclo de cultivo, que suele ser de 1/1 desde el trasplante hasta la floración, cambiando hasta 1/2 e incluso 1/3 durante el período de recolección. La adición de inhibidores de la nitrificación ralentiza la oxidación de amonio a nitrato, de manera que el amonio se mantiene durante más tiempo en el suelo, ya que este tipo de fertilizantes afectan a las bacterias que participan en este proceso. De esta manera el nitrógeno se suministra de forma gradual, ya que se adapta a las necesidades de cada cultivo a lo largo de su periodo de desarrollo y disminuyen las pérdidas de nitrato por lixiviación y desnitrificación, pues el efecto contrario tiene lugar con la adición de abonos minerales con elevado contenido en nitrógeno amoniacal.

El fósforo juega un papel relevante en las etapas de enraizamiento y floración, ya que es determinante sobre la formación de raíces y sobre el tamaño de las flores. En ocasiones se abusa de él, buscando un acortamiento de entrenudos en las épocas tempranas en las que la planta tiende a ahilarse. Durante el invierno hay que aumentar el aporte de este elemento, así como de magnesio, para evitar fuertes carencias por enfriamiento del suelo.

El calcio es otro macroelemento fundamental en la nutrición del tomate para evitar la necrosis apical (blossom end rot), ocasionado normalmente por la carencia o bloqueo del calcio en terrenos generalmente salinos o por graves irregularidades en los riegos.

Entre los microelementos de mayor importancia en la nutrición del tomate está el hierro, que juega un papel primordial en la coloración de los frutos, y en menor medida en cuanto a su empleo, se sitúan manganeso, zinc, boro y molibdeno (Infoagro, 2020).

2.3.4. Material vegetal

La elección se hará en función de: El mercado, teniendo en cuenta los gustos del consumidor en cuanto a color, sabor y forma, la conservación del fruto, que permitirá mayor o menor vida útil. El medio de cultivo, teniendo en cuenta la estructura del invernadero: si es bajo y/o poco ventilado las variedades muy vigorosas presentarán problemas de podredumbre, por lo que hay que elegir variedades de poco follaje y tallos finos, es importante conocer el suelo, su fertilidad y su estado sanitario que indicarán el vigor y las resistencias que deben tener la variedad y el patrón, además, el clima, que determinará su adaptación a la zona y al ciclo de cultivo. La calidad del agua de riego, la salinidad, especialmente, es importante para la elección de variedades más o menos resistentes a la salinidad.

Los tipos de tomate más cultivados en invernadero son:

- **Tipo Beef.** Plantas vigorosas hasta el 6^º-7^º ramillete, a partir del cual pierde bastante vigor coincidiendo con el engorde de los primeros ramilletes. Frutos de gran tamaño y poca consistencia. Producción precoz y agrupada. Cierre pistilar irregular. Mercados más importantes: mercado interior y mercado exterior (Estados Unidos).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- **Tipo Marmande.** Plantas poco vigorosas que emiten de 4 a 6 ramilletes aprovechables. El fruto se caracteriza por su buen sabor y su forma acostillada, achatada y multilocular, que puede variar en función de la época de cultivo.
- **Tipo Vemone.** Plantas finas y de hoja estrecha, de porte indeterminado y marco de plantación muy denso. Frutos de calibre G que presentan un elevado grado de acidez y azúcar, inducido por el agricultor al someterlo a estrés hídrico. Su recolección se realiza en verde pintón marcando bien los hombros. Son variedades con pocas resistencias a enfermedades que se cultivan con gran éxito en Cerdeña (Italia).
- **Tipo Moneymaker.** Plantas de porte generalmente indeterminado. Frutos de calibres M y MM, lisos, redondos y con buena formación en ramillete.
- **Tipo Cocktail.** Plantas muy finas de crecimiento indeterminado. Frutos de peso comprendido entre 30 y 50 gramos, redondos, generalmente con 2 lóculos, sensibles al rajado y usados principalmente como adorno de platos. También existen frutos aperados que presentan las características de un tomate de industria debido a su consistencia, contenido en sólidos solubles y acidez, aunque su consumo se realiza principalmente en fresco. Debe suprimirse la aplicación de fungicidas que manchen el fruto para impedir su depreciación comercial.
- **Tipo Cereza (Cherry).** Plantas vigorosas de crecimiento indeterminado. Frutos de pequeño tamaño y de piel fina con tendencia al rajado, que se agrupan en ramilletes de 15 a más de 50 frutos. Sabor dulce y agradable. Existen cultivares que presentan frutos rojos y amarillos. El objetivo de este producto es tener una producción que complete el ciclo anual con cantidades homogéneas. En cualquier caso, se persigue un tomate resistente a virosis y al rajado, ya que es muy sensible a los cambios bruscos de temperatura.
- **Tipo Larga Vida.** Tipo mayoritariamente cultivado en la provincia de Almería. La introducción de los genes Nor y Rin es la responsable de su larga vida, confiriéndole mayor consistencia y gran conservación de los frutos de cara a su comercialización, en detrimento del sabor. Generalmente se buscan frutos de calibres G, M o MM de superficie lisa y coloración uniforme anaranjada o roja.
- **Tipo Liso.** Variedades cultivadas para mercado interior e Italia comercializadas en pintón y de menor vigor que las de tipo Larga vida.
- **Tipo Ramillete.** Cada vez más presente en los mercados, resulta difícil definir qué tipo de tomate es ideal para ramillete, aunque generalmente se buscan las siguientes características: frutos de calibre M, de color rojo vivo, insertos en ramilletes en forma de raspa de pescado, etc. (De Liñan, 2005).

Estos son los ciclos de plantación más habituales (Figura 2.5), en el caso de nuestro experimento hemos utilizado un ciclo corto de otoño, realizando la plantación a primeros de septiembre.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

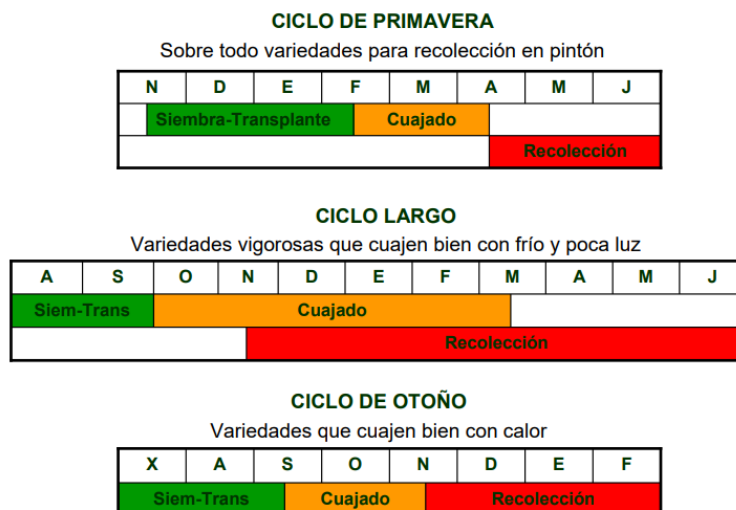


Figura 2.4: Ciclos de cultivo utilizados en tomate. Fuente: (González, 2013).

2.3.5. Parámetros de calidad

Bajo el concepto de calidad se engloban un gran número de parámetros que en conjunto determinan que un fruto sea apto para el consumo. Se admite como usuales parámetros tales como: sabor, aroma, color, calibre, firmeza, sólidos solubles, acidez, etc. (Casas et al., 1993).

De los diversos parámetros de calidad de los productos hortícolas comestibles, el consumidor, destinatario final de los mismos, valora algunos antes de realizar la compra (color, forma, tamaño, consistencia, estado de madurez presentación, etc.), mientras que otros son apreciados después, ya sea al consumirlos (aroma, sabor, textura, etc.) con los denominados parámetros de calidad interna, solo apreciables mediante métodos físicos y químicos (Cuartero et al., 1995; Anastasio y Abad, 1997).

La calidad de los productos hortícolas del futuro será mayor que hoy día, porque tendrá al menos la misma calidad interna (sabor, vitaminas, aroma, etc.), gracias básicamente a la mejora genética, la lucha biológica y las técnicas culturales (Cuartero y Fernández, 1990). La creciente demanda de mayor calidad en los productos hortícolas, en un mercado prácticamente saturado durante buena parte del año, impone la educación de la oferta a dichos niveles de calidad (Castilla, 1993).

Los órganos vegetales están constituidos por tejidos vivos que evolucionan tras su recolección con pérdida de agua y firmeza, color verde, acidez, astringencia y aumento de azúcares, sólidos solubles y aromas, sufriendo mermas de su calidad global hasta el consumo, que pueden llegar a su pérdida total.

Aunque el tomate sigue madurando después de recolectado, solo alcanza su calidad óptima para el consumo cuando madura unido a la planta madre. El estado de madurez en la recolección es seguramente el factor más determinante de su vida comercial y calidad de consumo. Los frutos recolectados verdes, cuando maduran tras la recolección son más

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

sensibles a la deshidratación, marchitamiento y daños mecánicos y de inferior calidad y con menor valor nutritivo (vitamina C) que los recolectados plenamente maduros. Por su parte los frutos recolectados maduros son menos sensibles a los daños por el frío que los inmaduros, aunque se ablandan más fácilmente y suelen ser más insípidos (Kader, 1993).

Para determinar el momento óptimo de recolección y evaluar la calidad en el tomate, es algo difícil de realizar porque implica juicios subjetivos, se han desarrollado diversos criterios que permiten objetivar algunas características. Habitualmente incluyen factores de apariencia, como el estado de madurez (muy asociado al color de la epidermis), el tamaño, la forma, la firmeza, y la ausencia de podredumbres, de defectos fisiológicos (marchitamiento general o peripeduncular con pardeamiento, arrugamiento, rajado o "cracking" de la epidermis, golpe o quemadura de sol, desarrollo anormal del color de la epidermis o de la pulpa, inexistencia de tejido placentario, deformaciones, etc.), y de daños mecánicos (heridas, cicatrices, golpes, rozaduras, etc.) o por heladas, granizo, insectos o parásitos. Otros son muy importantes, como el aroma y el sabor (sobre el que tiene una influencia decisiva en acidez y el contenido en sólidos solubles, ya que la aceptación del zumo de tomate por los consumidores depende de ratio (azúcares/acidez). También se consideran la formación de abundante tejido placentario en el interior del fruto y el valor nutritivo (Calero, 1999).

De entre todos los factores de calidad consideramos que la apariencia visual externa, un tamaño apropiado, color apropiado, ausencia de defectos, buena firma, sabor y aroma característicos y adecuada vida útil, son los más importantes para la decisión de compra de tomates por los consumidores.

Color

La calidad visual o el aspecto externo de los frutos no solo están afectados por las alteraciones epidérmicas de los frutos sino también por el desarrollo del color (Casas et al., 1993). El grado de madurez mínimo debe ser "verde maduro", excepto los tipos larga vida que se recolectan en rojo.

El color rojo del tomate resulta del reemplazo de las clorofilas degradadas por los pigmentos carotenoides, con aumento de licopeno, su caroteno específico y más abundante (con frecuencia de 4 a 7 mg/100 g) en las variedades rojas, anaranjadas y amarillas, y de xantofilas, cuando los cloroplastos se convierten en cromoplastos. Inicialmente se sintetiza fitoeno (incoloro), para posteriormente convertirse en a-caroteno (amarillo pálido), a-caroteno (anaranjado) y xantofila (amarilla). La síntesis de pigmentos amarillentos precede a la de los rojizos (licopeno y a-caroteno), pero la masiva acumulación de estos termina enmascarando a aquellos. Pero si la maduración sucede a temperaturas inferiores a 12°C, subóptimas para la síntesis de licopeno, en los cromoplastos se acumula a-caroteno, cuya síntesis progresa a esas temperaturas, dando lugar a frutos anaranjados o amarillentos (López-Camelo et al., 2003; Shewfelt et al., 1988).

El color de la epidermis es un buen indicador del estado de madurez del tomate y de la mayoría de los productos hortícolas. Existen cartas de colores para dar objetividad a los

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

valores de este atributo que, ligado el calibre, suelen constituir índices de madurez y de calidad.

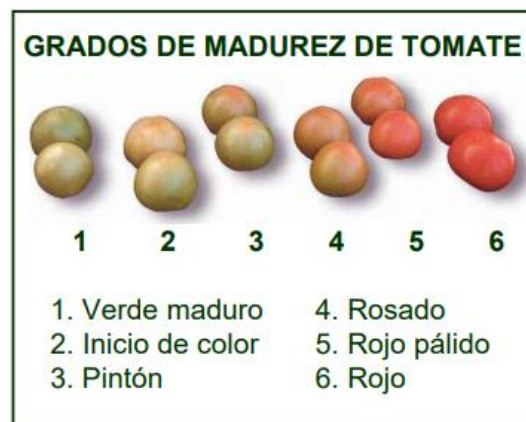


Figura 2.5: Grados de maduración del tomate. Fuente: (González, 2013).

Calibrado

Determinado por el diámetro máximo ecuatorial según el (reglamento CE 790/2000) (modificado por reglamento CE 717/2001) tipos comerciales. No se aplican a los tomates "cherry" (BOE,2000).

- Calibre mínimo: -47 mm. para tomate redondo liso y asurcado. -30 mm. para tomate oblongo.
- Escala de calibrado: Obligatorio para las categorías Extra y 1. No se aplicará a los "tomates en racimos". 30-35 mm., solo tipo pera. 35-40 mm. (P). 40-47 mm. (MMM). 47-57 mm. (MM). 57-67 mm. (M). 67-82 mm. (G). 82-102 mm. (GG). 102 mm. y + (GGG).

Sabor y aroma

El sabor y aroma como característica más o menos subjetiva es un parámetro de calidad que está afectado por las prácticas agrícolas, por los tratamientos de postcosecha y por el control genético (cultivar).

Firmeza

La firmeza es un parámetro que mide la resistencia de penetrancia de los tejidos del fruto.

El pectato cálcico es el responsable de la rigidez de los tejidos en los frutos La reducción de la firmeza en los frutos es consecuencia de la actividad del enzima poligalacturonasa (PG) sobre las pectinas y las paredes celulares, provocando cambios en las características de los tejidos que conducen al ablandamiento. Esta enzima aparece progresivamente en el proceso de maduración mientras que en los frutos verdes no existe (Riquelme, 1995).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Una práctica muy habitual es recolectar muy temprano los frutos, pero, aunque se gane en firmeza y se mejore el transporte, se pierde sabor, aroma y contenido nutricional. Se puede mejorar la firmeza de los frutos mediante el manejo del riego y el abonado (Cuartero y Fernández, 1996).

El mantenimiento de la firmeza del fruto una vez cosechado es de gran importancia para la comercialización en fresco, existiendo diferencias significativas entre la firmeza en función del cultivar, zona de producción y tipo de cultivo. Estas diferencias aumentan al considerar la evolución postcosecha a temperatura ambiente (20 °C) que en muchos casos reduce la comercialización a un periodo de siete días o menos (Gormely y Egan, 1978; Kavanagh et al., 1986). En tomate RAF, la comercialización se reduce a unos pocos días, debido a que, al recolectarse en verde, pierde firmeza rápidamente y cambia a color rojo (no deseable).

Es importante considerar la disminución de firmeza desde la recolección del fruto hasta que estos están a disposición del consumidor.

Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles es un parámetro que presenta gran variación en función del cultivar, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la disolución nutritiva, estrés hídrico, etc. Cuando la conductividad eléctrica aumenta, se ha comprobado que el contenido en sólidos y azúcares solubles también aumenta (Adams, 1991; Lin y Glass, 1997; Pérez-Alfocea et al., 1997).

El contenido de sólidos solubles aumenta al aumentar la salinidad, y, por el contrario, disminuyen al aumentar la densidad de plantación (Mendliner, 1994).

El contenido en sólidos solubles está íntimamente relacionado con el sabor y si ya que los azúcares solubles fructosa y glucosa (50 %) y los ácidos orgánicos cítricos y málico (13 %), son los componentes mayoritarios de los sólidos solubles y de sus concentraciones dependen el aroma y el sabor (Grierson y Kader, 1986; Eshed y Zamir, 1994). Estas características pueden ser mejoradas actuando en los parámetros medioambientales, la introducción de características genéticas y técnicas cultural contenido en sólidos solubles de Los frutos está determinado por una importante cantidad de asimilados (Ho y Hewitt, 1986). La concentración de sólidos solubles en el jugo de los frutos es mayor cuanto también es mayor la proporción de hojas por fruto (Davis et al., 1958; Hewitt y Stevens, 1981), además los cambios en su concentración son paralelos a radiación solar a lo largo de la estación (Winsor y Adams, 1976).

2.4. El tomate RAF

2.4.1. Origen y descripción

La variedad de tomate RAF tiene su origen en un cruce por selección natural, realizado en 1961, entre el tomate "Marmande Clause 27" y una variedad de tomate americana de raza común y resistente a *Fusarium* (Fitosofía, 2015).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

El RAF se seleccionó hace unos 25 años como variedad mejorada de los tomates que se plantaban por entonces en cultivos al aire libre (encañados) o bajo malla, el representante más conocido es el famoso Muchamiel, al que fueron sustituyendo rápidamente nuevas variedades más productivas o con más resistencias a enfermedades: cuarenteno, “americano” y RAF entre otros. El nombre corresponde a las siglas de “Resistente A Fusarium”, por su resistencia a fusarium 0 (*Fusarium oxysporium lycopersici*), lo que fue una de las características principales para que se extendiese su cultivo, además de ser bastante productivo y adaptarse al cultivo en los primeros invernaderos que empezaban a proliferar, frente a la pérdida de calidad que presentaba el Muchamiel en las nuevas condiciones.

La selección que se llevó a cabo y que fijó la variedad fue tradicional, por lo que estamos hablando de que es uno de los pocos tomates no híbridos que se cultivan actualmente en Almería.

Su cultivo se centra en la zona del levante almeriense, por ser esta zona de aguas de peor calidad que sólo aguantan cultivos de tomate, más resistente a la salinidad y hacen que el tomate adquiera un sabor único (Infoagro,2007).

El fruto es multilocular, acostillado y de semillas pequeñas, con un marcado cuello verde que lo distingue del resto, muy carnoso y con un alto porcentaje de materia seca (no desprende líquido al ser cortado). Madura de dentro hacia fuera y de forma rápida, ya que el gen de semi o larga vida que caracteriza a los tomates comerciales actuales procede de la hibridación. Por otra parte, tiene un alto contenido en azúcares (glucosa y fructosa principalmente), oscilando de 8 a 14 grados Brix, así como un alto contenido en ácidos orgánicos (cítrico y málico), aportando el adecuado equilibrio entre ambos (acidez-dulzor) el mayor atractivo de sabor.

2.4.2. Manejo del cultivo

La calidad final de este fruto depende del manejo del cultivo y el complejo agua-suelo-clima, el cultivo debe situarse en una zona adecuada con un microclima adecuado y con aguas salinas, ideales para obtener la alta calidad que el mercado demanda en la actualidad.

Es necesario hacer una plantación de cara al frío, ya que las temperaturas frescas ralentizan el crecimiento del fruto mejorando su calidad. Los dos parámetros del sistema agua-suelo son realmente limitantes ya que, si no se dispone de las características adecuadas, no es fácil modificarlos sin recurrir a grandes inversiones económicas y ecológicas.

Como patrones se suelen poner Maxifort, es una variedad de portainjertos para tomate que presenta un mayor vigor, mejor comportamiento con bajas temperaturas y en condiciones de alta salinidad. Especialmente recomendado para usar con variedades de poca vegetación, con poco vigor, poco tamaño y en condiciones de cultivo extremas (Fitosofía, 2015).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

La tarea del deshojado también es una tarea fundamental para la obtención de calidad en este fruto, ya que el fruto necesita experimentar radiación directa para obtener buen color y aspecto, algo que se tiene muy en cuenta de cara al mercado.

Uno de los mayores tópicos respecto al RAF es el de que cuanto peor sea la calidad del agua de riego mejor calidad dará la planta. Aunque si bien es cierto que, cuando para el resto de los tomates una conductividad eléctrica (CE) en agua de entrada mayor de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ es difícilmente tolerable, para que el RAF no dé problemas hay que contar con aguas que superen los 4 puntos de CE y ser moderadamente sódicas.

El solo dato de la CE informa poco de la calidad del agua, pero para aguas equilibradas en sales se puede hablar de que el mejor intervalo de salinidad oscila entre 4 y 7 dS m^{-1} ; a mayor conductividad, la producción se resiente mucho y puede haber disminución de la calidad al desplazarse Ca, K y Mg (Infoagro, 2007).

La característica principal que debe tener el suelo es que tenga un drenaje perfecto, siendo los mejores suelos arenosos y franco-arenosos. Si no se dispone de una buena percolación, las dosis y frecuencias de riego deberán ser muy bajas, la cantidad de abono a aplicar tendrá que ser alta en concentración e ir acompañada de aguas no excesivamente sódicas para no aumentar la concentración de iones perjudiciales en el perfil de cultivo.

Casi como consecuencia de esto, son preferibles suelos con baja capacidad de intercambio (menor de 15) aunque suelos con CIC de $20 \text{ meq}/100 \text{ g}$ son capaces de dar calidades excelentes.

La cantidad de materia orgánica total se debe mantener en torno al 1,5% sobre el total. Por supuesto la planta agradece niveles mayores, pero esto hace difícil de controlar el crecimiento general y la calidad final en concreto.

No es objeto de este trabajo profundizar en temas complejos de Fertirrigación, decir que, en la práctica, las fincas más rentables de este cultivo tienen aplicaciones extremadamente bajas de abono ya que reúnen buenas características y manejan el nivel de CE en suelo mediante restricción en el riego más que con aportes abusivos de fertilizantes (Infoagro, 2007).

Para obtener el máximo rendimiento económico en este tipo de cultivo los agricultores se centran más en la calidad que en la cantidad, ya que, para el punto de vista de mercado, el fruto de alta calidad tiene un gran valor económico, pudiendo alcanzar un valor de hasta 10 € kg^{-1} en origen en determinadas épocas, mientras que los frutos de baja calidad tienen un valor mucho menor.

En nuestro experimento no hemos obtenido frutos de gran calidad, ya que no poseíamos los requerimientos edafoclimáticos y el agua adecuada para obtener frutos de alta calidad, pero sí hemos conseguido una alta producción y calidad aceptables.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

2.4.3. Rendimientos

Como hemos explicado en el apartado anterior las condiciones y el manejo determinan notablemente la calidad e inversamente la cantidad de kg m^{-2} , por otra parte, se tira un alto porcentaje de kilos por blossom, ahuecamientos, rajado de frutos, plagas etc.; es por ello por lo que las producciones son muy variables siendo normal obtener 3 - 10 kg m^{-2} . Las medias pueden estar entorno a los 6 kg m^{-2} .

Es muy complicado obtener el rendimiento económico de una campaña, ya que existen mucha variabilidad de precios y de calidad de fruto al cabo de un año, incluso dentro de un mismo invernadero existirá gran variabilidad en la calidad de los frutos.

2.4.4. Variedades tipo RAF

Entre todas las cosas buenas que tienen los tomates RAF, los mayores inconvenientes que tienen es su dificultad de cultivo. Son bastante sensibles a problemas de ciertas enfermedades y plagas, así como las condiciones de cultivo. Es un tomate que tiene una alta calidad y un gran sabor, pero tiene unas producciones muy bajas. Comercialmente se retiran muchos productos por no estar suficiente acostillados o por tener puntos o heridas (Agromática,2014).

Existen muchos tipos de tomate asurcado, pero RAF sólo se consideran la variedad original, y las mejores híbridas introducidas en los últimos años por Clause- Tezier.

El híbrido de RAF más empleado en la actualidad es el tomate Delizia, que mejora con respecto al RAF en resistencia a Fusarium I y mejora del vigor general, uniformidad de calibre y color en temprano.

El tomate RAF tradicional necesita más frío durante la noche para alcanzar su máximo sabor, mientras que el RAF Delizia necesita menos frío, es por esto por lo que podemos tener tomate tipo RAF de alta calidad a partir de los meses de noviembre gracias a esta variedad híbrida, la variedad tradicional es una variedad más tardía de la que sólo obtenemos frutos de mayor calidad a partir de febrero, es por esto por lo que los agricultores cultivan el RAF tradicional en octubre y noviembre (ciclo corto) para obtener los frutos a partir de febrero, y el RAF Delizia a finales de agosto y septiembre (ciclo largo) para obtener producción a partir de noviembre alcanzando así altos precios de mercado.

El Delizia es más productivo que el RAF tradicional por lo que en los últimos años muchos agricultores están optando por cultivar esta variedad híbrida antes que la tradicional. Con respecto a la calidad, con ambas variedades se puede obtener alta calidad y sabor siempre y cuando el manejo sea el adecuado, por lo que su valor de mercado es similar, incluso superior para a variedad Delizia en los últimos años, ya que en aspecto y sabor son prácticamente iguales si se ha realizado un buen manejo.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.



Fotografías 2.2 y 2.3: Tomate RAF tradicional (izquierda). Tomate RAF (cv Delicia) (derecha).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

3. FASES DE DESARROLLO Y CRONOGRAMA ASOCIADO

En primer lugar, seleccionamos el material vegetal empleado para el experimento, elección del lugar de emplazamiento y el medio de cultivo.

Una vez hemos seleccionado la variedad a utilizar, se realiza la siembra en el semillero, para la obtención de plántulas. Cuando la plántula esta lista para el trasplante son llevas a la finca experimental para su plantación. Una vez plantadas se llevará a cabo la marcación de las plántulas en correspondencia al diseño experimental que hemos creado previamente para la realización del ensayo.

Se llevará acabo un seguimiento activo del cultivo durante todo su desarrollo con la realización de labores culturales (poda de formación, entutorado, deshojado), riego programado y análisis de drenajes y tratamientos fitosanitarios.

En la segunda semana tras el trasplante se llevará a cabo la adición de silicio a la solución nutritiva para las plántulas a tratar, las semanas previas se realizará la toma de datos fisiológicos una vez a la semana para posteriormente sean comparadas las plántulas con tratamiento de silicio y sin tratamiento.

Cuando la planta se haya desarrollado comenzará la recolección de los primeros frutos, que se realizará 2 veces por semana, tomaremos datos de producción y realizaremos la clasificación de frutos en cada una de las recolectas hasta la finalización del ensayo, además se realizará un análisis de los distintos parámetros de calidad del fruto que posteriormente serán puestos en comparación.

Cuando finalice el ensayo se llevará a cabo un análisis de la producción de biomasa del cultivo para comparar ambos tratamientos.

Actividades	Semanas		CICLO CULTIVO																							
	Fecha inicio	Fecha final	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			Agosto	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero						
Fecha siembra semillero	01/08/2019	05/08/2019																								
Fecha siembra en finca	06/09/2019	06/09/2019																								
Preparación macetas	06/09/2019	06/09/2019																								
Colocación placas cromotrópicas	17/09/2019	17/09/2019																								
Tratamientos fitosanitarios	10/09/2019	20/12/2019																								
Poda de formación	17/09/2019	17/09/2019																								
Entutorado	18/09/2019	18/09/2019																								
Trabajo de campo	06/09/2019	20/12/2020																								
Recogida y análisis de drenajes	23/09/2019	20/12/2019																								
Aplicación tratamiento Silicio	23/09/2019	20/12/2019																								
Toma de datos fisiológicos	10/10/2019	20/12/2019																								
Recolección de frutos	15/11/2019	20/12/2019																								
Valoración de la producción	15/11/2019	20/12/2019																								
Análisis produccion de biomasa	20/12/2019	26/12/2019																								
Análisis estadístico	26/12/2019	04/12/2019																								
Redacción del proyecto	11/11/2019	10/01/2020																								

Figura 3.1: Cronograma de las distintas actividades y fases de desarrollo del experimento.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Emplazamiento del ensayo

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de la Universidad de Almería, localizado en las instalaciones de esta, en La Cañada de San Urbano (Almería).



Fotografía 4.1: Situación de la posición de la finca experimental. Fuente: Google maps

Características de invernadero

Se trata de un invernadero de raspa y amagado, con una superficie total de 1850 m², con una altura de aproximadamente 4 m de la raspa al suelo. El invernadero cuenta con varios sectores de riego, de los cuales nosotros utilizaremos uno de ellos.

La orientación del invernadero es Norte-Sur, al igual que la orientación de las líneas de cultivo, con respecto a la ventilación, el invernadero está provisto de ventanas laterales y cenitales con apertura y cierre manual, estas ventanas poseen mallas antitrips, con el objetivo de evitar la entrada de agentes patógenos no deseables como por ejemplo la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) transmisora de virosis.

4.2. Sistema de fertirriego

El sistema de fertirriego se encuentra situado en una sala al lado del invernadero donde realizaremos el ensayo.

Este sistema de fertirriego consta de un cabezal de riego, desde el que se dirige y controlan las operaciones de fertirrigación del cultivo, que posee la toma de alimentación de agua, en nuestro caso disponemos de un depósito de almacenamiento de agua que suministra el caudal requerido a la presión necesaria.

El sistema de fertirriego consta de 3 tanques de fertilización, de los cuales dos de ellos de 1000 L se utilizan para la preparación de la disolución madre, y uno de ellos de 400 L de utiliza para el ácido, la distribución es la siguiente:

- Tanque A: Fertilizante con calcio, Nitrato cálcico y microelementos.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Tanque B: Fertilizantes fosfatados y sulfatos, para evitar la precipitación entre fosfatos y el calcio: Nitrato Potásico, fosfato monopotásico y sulfato magnésico.
- Tanque C: Se utiliza para los ácidos para alcanzar la consigna de pH deseada: ácido nítrico.

El sistema de inyección de venturis está controlado por una serie de electroválvulas que abrirán más o menos tiempo en función de las consignas de CE y pH establecidas en el programador de riego mediante el cual gobernaremos los riegos de nuestro cultivo, se trata de un ordenador de riego con el cual podremos modificar el número de riegos diarios, la hora y el día de la semana, además de establecer las consignas de CE y pH para cada uno de los riegos.

El agua llega hasta el invernadero desde el cabezal de riego mediante tuberías enterradas de PVC que conectan las tuberías superficiales de polietileno y suministran el agua a través de ellas, los ramales porta-goteros se colocaron en la misma dirección que las líneas de cultivo.

Con respecto a los emisores utilizados, se utilizará uno por cada planta, y una separación de 50 cm entre plantas. Los goteros será autocompensantes y antidrenantes, por lo que el caudal será independiente de la presión además de evitar que el ramal portagoteros se vacíe entre riegos, asegurando que cada una de las plantas reciba la misma cantidad de solución nutritiva, el caudal de los goteros es de 3 L h^{-1} .

Para las plantas que trataremos con silicio el procedimiento será el mismo, con la diferencia de que en los riegos en los que vamos a tratar con silicio, para asegurarnos de que las plantas reciban el mismo aporte nutritivo, sacaremos el emisor de cada una de las plantas con tratamiento hasta una botella (Fotografía 4.2), una vez finalizado el riego añadiremos la dosis de silicio a cada uno de las botellas que previamente depositaremos en la planta de forma manual.



Fotografía 4.2: Recipientes para el aporte manual de silicio.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

4.3. Unidad de cultivo

En este ensayo hemos empleado un sistema de cultivo sin suelo, con un sustrato de fibra de coco, un tipo de sustrato muy utilizado en el cultivo de tomate que ya hemos descrito con anterioridad. Para el cultivo de las plántulas hemos utilizado contenedores de 24 L que hemos rellenado e hidratado previamente para el trasplante de las plántulas de tomate. La hidratación de la fibra de coco se consigue realizando numerosos riegos hasta conseguir una saturación homogénea.



Fotografía 4.3: Plántula de tomate tras el trasplante.

4.4. Riego y drenajes

Mediante este sistema se pretende poner a disposición de la planta todos los elementos nutritivos necesarios para la realización de sus funciones y la optimización de estos.

El sistema de cultivo sin suelo que hemos utilizado es el drenaje libre solución perdida, el drenaje sobrante de los riegos no se recupera y se pierde por percolación en el suelo excepto aquellas unidades de cultivo en las que colocaremos una bandeja de drenaje.

El riego está automatizado, en nuestro ensayo el tiempo programado para cada riego es de 5 min (que suponen unos 250 ml por emisor), utilizaremos el método de frecuencia variable y dotación constante. Una vez determinada la dosificación de cada riego, iremos variando las frecuencias de este dependiendo de las necesidades hídricas de la planta, que dependerán de las condiciones climáticas y del estado fenológico de la planta. Durante la mayor parte del cultivo el volumen de riego se calculará con una consigna del 20% de drenaje e iremos modificando la frecuencia de riego para conseguirlo, una vez que comencemos con la recolección de frutos bastará con tener un drenaje del 5-10% para mejorar la calidad de los frutos, además iremos aumentando progresivamente la consigna de CE para someter los frutos a estrés hídrico y obtengan así mayor calidad.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Para la recogida de los drenajes y para la evaluación de los parámetros de fertirriego, instalaremos 3 bandejas de drenaje por cada tratamiento, cada una de estas recogerá el drenaje de 1 contenedor, de las cuales obtendremos el volumen de drenaje que nos servirá para realizar variaciones en la frecuencia de riego.

Además, instalaremos un recipiente para recolectar el fertirriego desde los goteros control, de esta manera al conocer el aporte a la planta, mediante el análisis de los drenajes podremos conocer el consumo de la planta y el porcentaje de drenaje. Cada semana se realizarán mediciones de volumen de riego y drenaje diarios, además de analizar mediciones de conductividad eléctrica y pH, para el conocimiento del estado del cultivo y las posibles variaciones en las consignas de riego.



Fotografía 4.4: Detalle bandeja de drenaje colocada.

4.5. Evaluación de la calidad de agua de riego utilizada y solución nutritiva

4.5.1. Agua de riego

Al inicio de un cultivo es fundamental conocer la composición química del agua que vamos a utilizar para el riego, dado que el agua puede ser uno de los principales factores limitantes de determinados cultivos hortícolas.

Las características que se deben analizar del agua de riego a utilizar son las siguientes:

- Conductividad eléctrica (CE): tiene relación directa con la cantidad total de sales que existen disueltas en el agua. A mayor concentración de sales mayor CE; se expresa en las unidades de mS cm^{-1} o dS m^{-1} .
- pH: su valor altera la absorción vegetal por su influencia sobre el estado de asimilación del nutriente o la cantidad disponible del mismo. Se considera un rango óptimo para el funcionamiento de las plantas: 6-6,5. Mediante la adición de ácidos se consigue reducir el pH de las aguas de riego, en este caso se utilizó el ácido nítrico.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Iones: expresa la concentración de los aniones y cationes existentes en el agua, la cual hay que tener en cuenta para el posterior cálculo de la solución nutritiva óptima para el cultivo.

El agua utilizada en este ensayo es un agua de buena calidad, siendo su composición química la que se encuentra en la siguiente tabla:

	dS m ⁻¹	Mmol L ⁻¹					
pH	CE	HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
7,39	0,70	3,64	0,62	1,35	5,69	3,10	1,15

Tabla 4.1: Composición agua de riego utilizada. Fuente: Universidad de Almería.

4.5.2. Disolución nutritiva

Las disoluciones nutritivas tipo son infinitas y no se pueden estandarizar ya que dependen de la variabilidad de los factores de producción.

La elección de una u otra se condiciona por la variedad cultivada, estadio fenológico de desarrollo, condiciones climatológicas, etc.

Para el desarrollo de nuestro cultivo hemos utilizado la siguiente disolución nutritiva durante todo el desarrollo de la planta:

	dS m ⁻¹	Mmol L ⁻¹					
pH	CE	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺
5,8	2,5	12,5	2,00	1,75	1,80	5,00	5,00

Tabla 4.2: Características disolución nutritiva empleada. Fuente: (Sonneveld y Straver 1994).

4.6. Material vegetal

En el diseño experimental vamos a utilizar, plántulas de la variedad RAF (cv Delizia) de la casa de semillas Clause, es una variedad vigorosa tipo Marmande RAF híbrida, más productiva que el RAF tradicional como hemos explicado con anterioridad, las plántulas estarán injertadas con el portainjerto Maxifort que aporta a la planta un mayor vigor y mejora de la productividad (Seminis, 2016), el uso de portainjertos permite aprovechar al máximo el sistema hidropónico. El sistema radicular de los portainjertos posee un vigor que supera al vigor de las raíces de variedades comerciales, pudiendo desarrollar un mayor número de raicillas y siendo entonces, más eficientes en el consumo y absorción de agua y nutrientes en estos sistemas.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Las plántulas utilizadas provienen de planta sobrante de una finca de cultivo de tomate tipo RAF, previamente fueron sembradas y cuidadas en el semillero Raipiant, situado en Carretera a San José, Km. 5.1, 04117 El Barranquete.

Las plantas fueron sembradas el 1/8/2019, y posteriormente fueron plantadas en la finca el 5/9/2019 de la cual recogimos la planta sobrante y la plantamos en el invernadero de la Universidad de Almería el 6/9/2019 conforme a nuestro diseño experimental.



Fotografía 4.5: Plántulas de tomate injertadas.

4.7. Manejo agronómico del cultivo

4.7.1. Técnicas de cultivo

Trasplante y marco de plantación

El trasplante se hace en contenedores de 24 L de volumen, con un total de 60 contenedores, uno por cada planta, en primer lugar, se rellenaron los contenedores con fibra de coco que posteriormente se debe hidratar con abundantes riegos, a continuación, se da la plantación de las plántulas en los contenedores indicando en cada contenedor el tipo de tratamiento.

El marco de plantación se establece en función de la planta, que a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada, en el ensayo hemos utilizado un marco de plantación de 1,5 m entre líneas y 0,5 m entre plantas.

Poda de formación

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realizó a los 15-20 días del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales que se eliminaron junto con las hojas más viejas, en esta labor se determinará el número de brazos (tallos) a dejar por planta, en nuestro caso hemos dejado 2 tallos por planta, ya que es una

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

planta injertada que le aporta mayor vigor a la planta. La poda en tomate tiene como principales objetivos:

- Aumento de precocidad.
- Favorecimiento del cuajado de las flores.
- Control de la calidad y tamaño del fruto.
- Aceleración de la madurez.
- Facilitar la ventilación y aireación del cultivo.
- Facilitar la aplicación de tratamientos fitosanitarios.



Fotografía 4.6: Poda de formación a 2 brazos.

Entutorado

Práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y todos los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta floreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades. La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (liado, anudado o sujeto mediante anillas) y de otro a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta (1,8-2,4 m sobre el suelo) Conforme la planta va creciendo, el tallo se va enrollando o sujetando al hilo tutor mediante anillas, hasta que la planta alcance el alambre del emparrillado, la planta no llegó a alcanzar un alto crecimiento hasta la finalización del ensayo, por lo que no fue necesario bajar la planta.

Se eligió el sistema de entutorado mediante hilos de rafia de polipropileno, sobre el cual se van enrollando los tallos principales de la planta en sentido antihorario a medida que va creciendo la planta. Estos hilos se sujetan en la parte superior en el entramado de alambres que forman parte de la estructura del invernadero, mediante un nudo corredizo el cual facilita manejo para cuando sea necesario su tensado. En la parte inferior va unido a la base del tallo. Se despuntaron las plantas cuando llegaron al alambre (porte semiterminado).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Destallado

Se trata de la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal, en nuestro caso lo hemos realizado 1 vez a la semana. Debe realizarse con la mayor frecuencia posible para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas que puedan causar enfermedades. Los cortes deben ser limpios, para evitar la entrada de patógenos.

Deshojado

Se recomienda tanto en las hojas senescentes, con objeto de facilitar la aireación, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo, además también se realiza el deshojado en la variedad empleada para favorecer la radiación directa al fruto, que facilita que este adquiera un color más oscuro y el cuello marcado característico de las variedades tipo RAF.

Polinización y cuajado de los frutos

El tomate, por sus características, es una planta que no necesita agentes polinizadores para el cuajado de los frutos. Si bien estos facilitan las operaciones y mejoran la producción para un cultivo de pocas plantas no son imprescindibles, pero para una gran superficie su trabajo es esencial. En nuestro ensayo, este proceso se ha realizado mediante el vareo de los alambres en los que se encuentran anudados las guías que soportan los tomates. Este vareo provoca una agitación de las plantas lo cual hace que el polen de las flores se desprenda y caiga sobre otras produciéndose así la fecundación. Hay que tener en cuenta la hora de realizar esta labor, ya que habrá que escoger horas del día en las que la humedad relativa en el invernadero no sea muy alta, ya que los granos de polen se encuentran “pegados” en estas condiciones.



Fotografía 4.7: Frutos de tomate cuajados.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Recolección

La recolección en tomate se realiza cuando los frutos alcanzan el suficiente estado de maduración y tamaño, en el caso del tomate RAF a recolección se lleva a cabo cuando el tomate comienza a madurar se dice que está “pintón”, es un tomate que madura de dentro hacia afuera (Fotografía 4.9), y tiene un valor comercial más alto cuando el tomate comienza a madurar que cuando este termina su maduración, ya que es un tomate que tiene un tiempo de postcosecha más limitado que el resto de variedades, por eso en nuestro experimento hemos recolectado frutos dos veces por semana, se realizaron 15 recolectas entre la primera semana de noviembre y la última semana de diciembre.



Fotografías 4.8 y 4.9: Frutos de tomate tipo RAF y maduración de frutos.

4.7.2. Seguimiento y control del cultivo

En los primeros días hasta la tercera semana se establecieron una serie de riegos cíclicos para satisfacer las demandas hídricas de la planta, conforme la planta fue creciendo y cambiando sus estadios vegetativos se han ido variando las frecuencias de riego para adaptarse a las nuevas demandas hídricas, además para una mejora en la calidad en los frutos se fue incrementando la consigna de CE cuando vimos oportuno.

Además, se han realizado tratamientos fitosanitarios para el control de plagas de mosca blanca (*Bemisia Tabaci*) y *Tuta absoluta*.

4.8. Diseño experimental

Se utilizará un diseño experimental de bloques completos al azar (Little y Hills, 1989; Petersen, 1994) con un total de 2 tratamientos y 4 repeticiones en cada uno de los tratamientos distribuidas al azar; Habrá un total de 60 plantas, cada repetición estará constituida por 4 plantas para un total de 32 plantas evaluadas, y los 28 restantes como bordes situados alrededor de las distintas repeticiones.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Tratamiento sin silicio en la solución nutritiva (-Si)
- Tratamiento con silicio en la solución nutritiva (+Si) a una dosis de **0,6 mmol L⁻¹** en la solución nutritiva en cada riego del cultivo.

Distribución de los tratamientos

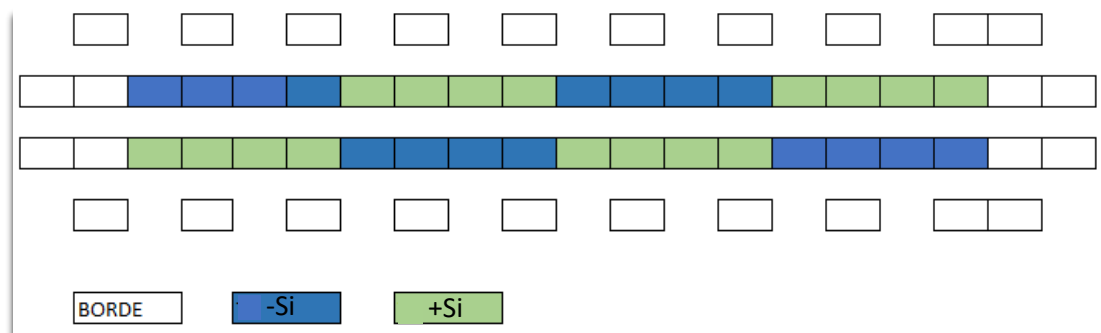


Figura 4.1: Detalle de la distribución de los tratamientos del experimento.

Composición del tratamiento empleado

Labin Fertilisil: Silicato potásico líquido.

Composición:

SiO₂ (%) 23,0 +/- 1%

K₂O (%) 10,0 +/- 1%

Agua (%) 68,0 +/- 2%

Dosis y frecuencia de aplicación

Inicio de la aplicación dos semanas después del trasplante hasta finalización del ensayo, las aplicaciones de silicio se realizaron manualmente y a diario en recipientes donde se adicionaba a la solución nutritiva de cada riego de las plantas +Si, a una dosis de 0,6 mmol.

4.9. Métodos de análisis

4.9.1. Parámetros del fertirriego

Para su evaluación se instalaron 3 bandejas de drenaje por cada tratamiento (-Si y +Si), estableciéndose un total de 6 bandejas (3 repeticiones por cada tratamiento) con las que se recolectaba el drenaje, además se instalaron recipientes control para recolectar el fertirriego desde un gotero control.

Una vez a la semana se realizaban mediciones del volumen de riego y drenaje (24 horas), también se recogieron muestras para la medición de conductividad eléctrica, el pH y las concentraciones de NO₃⁻ y K⁺. Con estos valores se calculó el consumo hídrico, el porcentaje de drenaje y la absorción de NO₃⁻ y K⁺.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

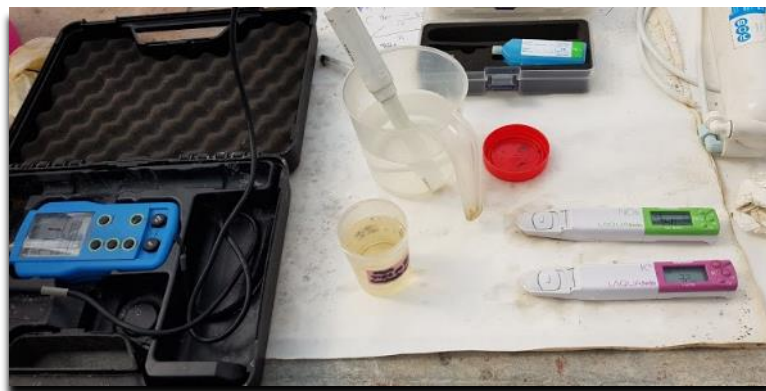
Medidas en el riego

- Volumen de riego aplicado por unidad de tiempo (ml día⁻¹)
- pH del riego aportado
- CE del riego aportado (dS m⁻¹)
- Concentraciones de NO₃⁻ y K⁺ (mg L⁻¹)

Medidas en el drenaje

- Volumen de la disolución drenada por unidad de tiempo (ml día⁻¹). Porcentaje de drenaje y volumen consumido.
- pH de la disolución drenada
- CE de la disolución drenada (dS m⁻¹)
- Concentraciones en la disolución drenada de NO₃⁻ y K⁺ (ppm). Absorción de NO₃⁻ y K⁺

El pH y CE se miden con un medidor HI 9811-5N y HI 9812-5N, la concentración de NO₃⁻ y K⁺ se mide con un medidor de potasio Laqua twin K-11- y un medidor de nitrato Laqua twin NO3-11-.



Fotografía 4.10: Medida de los parámetros del fertirriego con los distintos aparatos,

4.9.2. Producción y clasificación de frutos

Para la determinación de la producción del cultivo en función de los distintos tratamientos se llevó a cabo una recolección de frutos cada 4 días aproximadamente separando según la repetición en los que se encuentran situados y el tratamiento.

Los frutos se recolectan en cubos (Fotografía 4.11) separándolos, especificando su repetición y tratamiento, quedando divididos en 8 subgrupos.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.



Fotografía 4.11: Recolección de frutos..

A continuación, los frutos se pesan y se clasifican por tamaño, según las normas e calibrado explicadas en apartados anteriores, para la determinación de frutos comerciales y no comerciales, se eliminan los frutos rajados (Fotografía 4.12) o con algún tipo de defecto físico que los hace no comerciales.



Fotografía 4.12: Fruto rajado no comercial.

Su pesado se realiza con una báscula de 0-5 kg y calibrado mediante la medida del diámetro ecuatorial de los frutos.

Dentro de cada clasificación los frutos se dividen en comerciales (calibres GG, G, M, MM), atendiendo a las normas de calibrado citadas en el apartado de memoria descriptiva, los frutos no comerciales serán, todos aquellos con algún tipo de deformación o fisiopatía y con un diámetro inferior a 47 mm.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Los datos de producción total vienen en kilogramos de fruto por unidad de superficie (kg m^{-1}).

4.9.3. Parámetros fisiológicos de la planta

Los parámetros fisiológicos de la planta se empezaron a medir a los 25 días tras el trasplante una vez a la semana, en todos los parámetros de la planta no hemos tenido en cuenta el borde del tratamiento para así someter a todas las plantas a las mismas condiciones de luz, aireación y humedad relativa.

Se tomaron 2 plantas al azar de cada repetición de cada uno de los tratamientos a las que se les hizo un estudio con la evaluación de los siguientes parámetros:

- Altura de la planta (m)
- Diámetro de la planta (mm)
- Porcentaje materia seca de raíz, tallo y hojas.

La altura de la planta se tuvo en cuenta la longitud total e incremento de longitud el cual fue medido mediante un flexómetro de 5 m de longitud y con 0,1 cm de sensibilidad.



Fotografía 4.13: Medida de la altura de la planta.

El diámetro del tallo fue medido mediante un calibre digital, modelo "Mitutoyo" que mide de 0 a 15cm y tiene una sensibilidad de 0,01 mm.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.



Fotografía 4.14: Medida del diámetro del tallo.

Para la determinación del porcentaje de materia seca, una vez finalizado el ensayo se procedió al peso fresco de muestras de raíz, tallo y hojas por separado con una balanza de precisión, se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento, una vez pesadas las muestras de peso fresco, estas muestras etiquetadas se dejan secar en una estufa a 75°C y pasados unos 3 días se vuelven a pesar, obteniendo el peso seco de cada muestra, pudiendo calcular así la relación de materia seca contenida en el peso fresco inicial expresada en el porcentaje.



Fotografías 4.15, 4.16 y 4.17: Peso seco de muestras de raíz, tallo y hojas.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

4.9.4. Parámetros de calidad del fruto

Debemos distinguir entre los parámetros de calidad externa (color, forma, tamaño, etc.) y de calidad interna (aroma, sabor, textura, etc.) estos últimos son los de mayor importancia en tomates tipo RAF, ya que es un mercado en el que el consumidor se mueve más por el sabor del fruto que por su aspecto externo.

La calidad de nuestros frutos fue analizada en función de los siguientes parámetros: firmeza del fruto, grosor de la cutícula materia seca, sólidos solubles y pH.

De los frutos anteriormente recolectados se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento, se recogieron muestras de 3 frutos al azar con un grado de maduración similar por cada tratamiento y repetición.

Con estas muestras podremos medir la firmeza del fruto, contenido en sólidos solubles, pH del fruto y el porcentaje de materia seca.

Firmeza del fruto

La firmeza del fruto indica la resistencia de la epidermis del fruto del tomate (Céspedes et al., 2004). Se midió con un penetrómetro Bermuzzi modelo FT 327, empleando el vástago de 8 mm de diámetro y expresando el resultado en kilogramos de fuerza, consiste en presionar hasta que el bulbo consiga romper el exocarpo y penetrar en el interior.

Se realizaron 3 medidas por cada fruto, siendo el resultado de la repetición la media entre estas tres medidas.



Fotografía 4.18: Detalle de la medida de la firmeza con un penetrómetro.

Contenido en sólidos solubles totales (°Brix)

La determinación del contenido de sólidos solubles se realizó mediante un refractómetro manual, modelo Atago N1 (Brix 0-32%) expresando los resultados en grados Brix. El grado Brix representa el porcentaje de concentración de todos los sólidos solubles contenidos en una muestra (azúcar, sal, proteínas, ácidos, etc.), y el valor que se obtiene en la escala al hacer mediciones es la suma de todos ellos.

La medición de sólidos solubles se realizó de la siguiente forma:

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Con los 3 frutos seleccionados de cada repetición y tratamiento se realiza un triturado utilizando una batidora eléctrica en el laboratorio
- A continuación, tomamos una muestra del triturado y la colocamos en el medidor del refractómetro, procurando que ocupe toda su superficie para previamente proceder a su lectura.



Fotografía 4.19: Triturado del tomate con una batidora eléctrica.



Fotografía 4.20: Refractómetro.

Acidez iónica (pH) y CE:

El pH y CE se mide utilizando un medidor HI 9811-5N y HI 9812-5N, se utilizaron las mismas muestras trituradas utilizadas para medir el contenido en sólidos solubles para cada repetición y tratamiento.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.



Fotografía 4.21: Medidor de pH y CE.

Materia seca

Se expresa en porcentaje con respecto al peso fresco de la muestra inicial. Para la determinación de este parámetro se realizó el siguiente procedimiento:

- Previamente se prepararon 3 muestras de tomate para cada tratamiento (mezcla de 3 frutos de cada repetición), con un total de 6 repeticiones, y posteriormente se pesan en una báscula de precisión.
- A continuación, se dejan secar las muestras en una estufa a 75°C y al cabo de unos 3 días se vuelven a pesar las muestras, ya deshidratadas, obteniendo el peso seco de cada una de ellas, pudiendo calcular así la relación de materia seca contenida en el peso fresco inicial, expresándola en porcentaje.



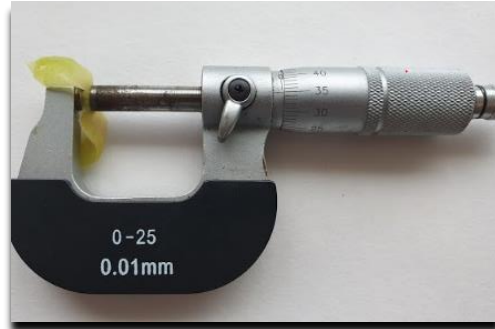
Fotografía 4.22: Muestras de tomate introducidas en la estufa para la obtención del peso seco.

Grosor de la cutícula

Con esta medida pretendemos conocer el grosor de la cutícula del fruto, situada en el exocarpo, para ello preparamos 5 repeticiones con 3 medidas en cada una de ellas, las muestras para cada tratamiento se preparan de la siguiente forma de la siguiente forma:

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Seleccionamos 5 frutos con aspecto similar para cada tratamiento, con ayuda de una navaja procedimos a quitarle la piel a los frutos.
- Una vez extirpada la piel de los frutos realizamos 15 medidas para cada uno de los tratamientos con ayuda de un micrómetro.



Fotografía 4.23: Medida del grosor de la cutícula con un micrómetro.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

5. EXPLICACIÓN DE CÓMO SE HAN INTEGRADO LAS DIFERENTES COMPETENCIAS ADQUIRIDAS EN LAS ENSEÑANZAS DE LA TITULACION EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

E-CB01: Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: álgebra lineal; geometría; geometría diferencial; cálculo diferencial e integral; ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales; métodos numéricos, algorítmica numérica; estadística y optimización.

E-CA01: Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de: Identificación y caracterización de especies vegetales.

CTH01: Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de tecnología de la producción hortofrutícola: Bases y tecnología de la propagación y producción hortícola, frutícola y ornamental. Control de calidad de productos hortofrutícolas. Comercialización. Genética y mejora vegetal.

CTH05: Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de material vegetal: producción, uso y mantenimiento.

Análisis estadístico: Todos los datos se sometieron a análisis de la varianza ($p < 0,05$) y a la prueba de mínimas diferencias significativas con la ayuda del paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS para Windows 10.

Análisis de la varianza: Este análisis se ha realizado por medio de la tabla ANOVA, la cual descompone la variabilidad de los diferentes factores dentro de contribuciones esperadas a varios factores. En este análisis, la contribución de cada factor ha sido medida habiendo eliminado los efectos de los demás factores. Los valores de p que aparecen en las tablas muestran la insignificancia estadística de cada uno de ellos, de manera que cuando los valores de p son menores de 0,05, esos valores tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro tratado a un nivel de confianza del 95%.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros del fertirriego

El consumo hídrico de la planta va variando a lo largo del tiempo en función de las necesidades de la planta como muestra la figura (Figura 6.1), durante la evolución e se muestran diferencias significativas entre los tratamientos, pero se puede observar en el consumo total acumulado una diferencia significativa entre los tratamientos, estableciéndose 229,7 L planta⁻¹ para -Si y de 237,02 L planta⁻¹ para +Si con un incremento en el consumo de agua del 3% para las plantas tratadas con silicio.

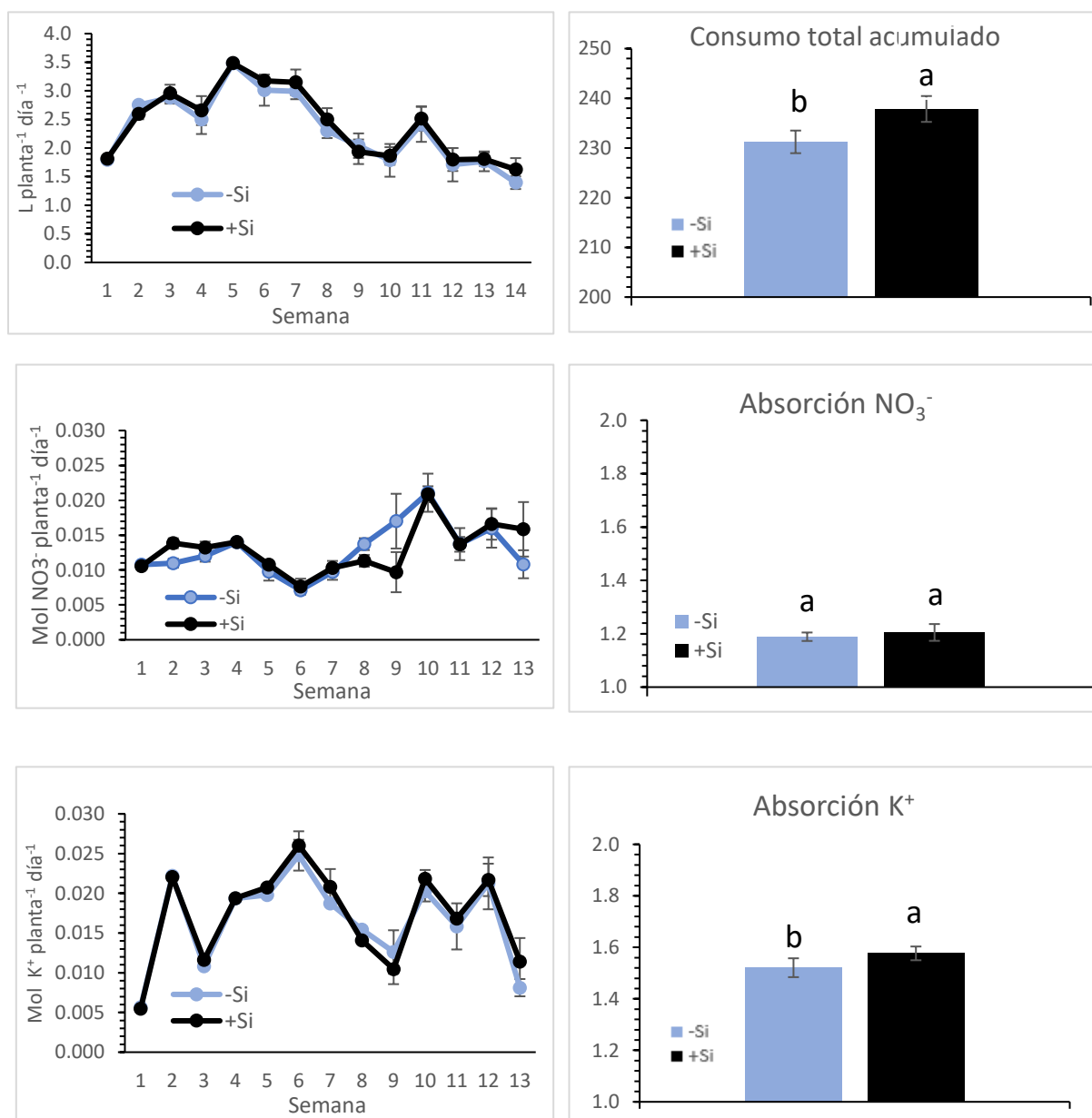


Figura 6.1: Consumo acumulado y total de agua (L planta⁻¹) y absorción de NO₃⁻ y K⁺ (Mol planta⁻¹) en un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para P ≤ 0.05.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

La figura (Figura 6.1) muestra como la absorción de NO_3^- y K^+ durante la evolución no observamos diferencias significativas entre ambos tratamientos. En la absorción acumulada de NO_3^- se han obtenido valores de $1,19 \text{ mol planta}^{-1}$ para -Si y de $1,20 \text{ mol planta}^{-1}$ para +Si no apreciándose diferencias significativas. En la absorción acumulada de K^+ se han obtenido valores de $1,50 \text{ mol planta}^{-1}$ para -Si y de $1,56 \text{ mol planta}^{-1}$ para +Si apreciándose diferencias significativas.

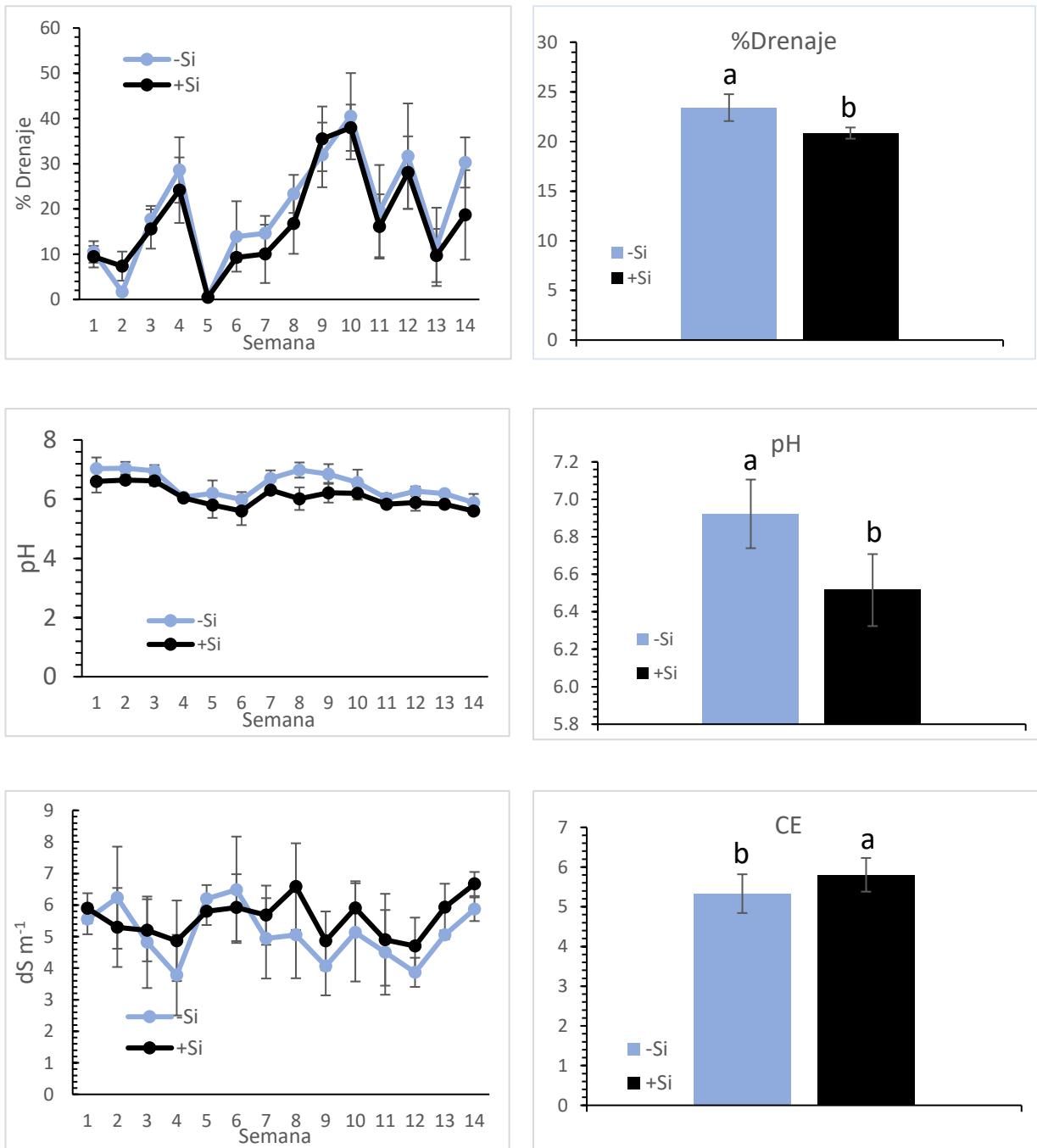


Figura 6.2: Evolución y media del porcentaje (%), pH y CE (dS m^{-1}) del drenaje de un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para $P \leq 0.05$.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Se muestra (Figura 6.2) como en el porcentaje de drenaje se puede observar diferencia significativa a lo largo de la evolución del cultivo, siendo mayor para -Si y menor para +Si obteniéndose un valor medio del 23,4% para -Si y de 20,8% para +Si esto corresponde con los datos obtenidos del consumo total de la planta en los que se observa un mayor consumo en las plantas tratadas con silicio, por lo que su drenaje es inferior.

Para valores de pH observamos diferencias significativas entre los tratamientos, con un valor medio de 6,92 para -Si y de 5,52 para +Si.

La figura (Figura 6.2) muestra que en la CE del drenaje se observa diferencia significativa entre los tratamientos a lo largo de la evolución del cultivo, con valores medios de 5,33 dS m⁻¹ para -Si y de 5,81 dS m⁻¹ para +Si, este incremento de la CE en un 9% es debido a una mayor acumulación de sales en el drenaje al ser este menor para las plantas tratadas con silicio.

6.2. Parámetros fisiológicos de la planta

Se muestran (Tabla 6.1) algunos de los principales parámetros de crecimiento de la planta observados en el experimento. La inclusión de Si en la solución nutritiva utilizada para las plántulas de tomate causó un efecto positivo en todos los parámetros de crecimiento vegetativo. Las plantas de tomate tipo RAF con la adición de Si la longitud y diámetro del tallo aumentaron significativamente con su adición, incrementando hasta un 5%.

Tabla 6.1: Parámetros de crecimiento vegetativo para las plantas con (+ Si) y sin (-Si) silicio (Si) en la solución nutritiva, para un cultivo de tomate tipo RAF.

	-Si	+Si
Longitud del tallo (m)	1,73	1,83*
Diámetro del tallo (mm)	17,00	17,57*

NS y * indican diferencia no significativa y $P \leq 0,05$, respectivamente.

Tabla 6.2: Peso húmedo (g / planta) para las plantas con (+ Si) y sin (-Si) silicio (Si) en la solución nutritiva, para un cultivo de tomate tipo RAF.

	-Si	+Si
Tallo	3,09	3,52*
Hoja	1,12	1,31*
Raíz	0,07	0,08NS

NS y * indican diferencia no significativa y $P \leq 0,05$, respectivamente.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Tabla 6.3: Porcentaje de materia seca (%) para las plantas con (+ Si) y sin (-Si) silicio (Si) en la solución nutritiva, para un cultivo de tomate tipo RAF.

	-Si	+Si
Tallo	16,6	17,2*
Hoja	17,2	17,8*
Raíz	29,7	30,1*

NS y * indican diferencia no significativa y $P \leq 0,05$, respectivamente.

La tabla muestra (Tabla 6.2) que los pesos húmedos mostraron tendencias similares a los parámetros de crecimiento con diferencias significativas en tallo y hojas, incrementando hasta en un 10%, además el porcentaje de materia seca de los tallos, hojas y raíces se vieron afectados por la adición de Si con diferencias significativas de hasta un 3% (Tabla 6.3). Estos resultados sugieren que, aunque las soluciones nutritivas estándar utilizadas para fertilizar estos vegetales generalmente no incluyen el Si como elemento nutritivo para ser asimilado (Arnon y Hoagland 1940; Cooper, 1979; Hewitt, 1966), el Si es beneficioso para el crecimiento de la planta de tomate tipo RAF.

Estos resultados se asemejan a (Urrestarazu et al., 2015) que encontraron que el uso de Si en la solución nutritiva tiene efectos beneficiosos para el crecimiento vegetativo en tomate con un incremento del 10% además de efectos beneficiosos en el peso húmedo y seco con incrementos del 5-10% para raíz, tallo y hojas.

6.3. Producción y clasificación de frutos

Se muestra (Figura 6.3) la evolución de la producción total acumulada para ambos tratamientos en donde se puede observar una pequeña diferencia entre los kg m^{-2} en las cosechas para los distintos tratamientos, aunque no es significativa, la diferencia significativa se muestra en los valores de producción acumulados (Figura 6.4).

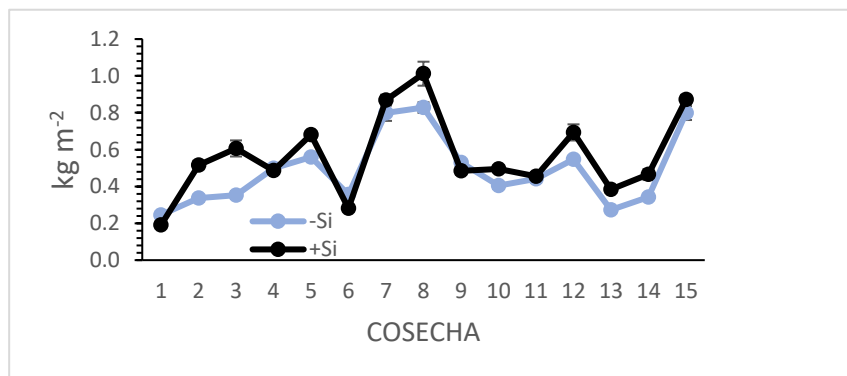


Figura 6.3: Evolución de la producción comercial (Kg m^{-2} cosecha⁻¹) para un cultivo de tomate tipo RAF.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

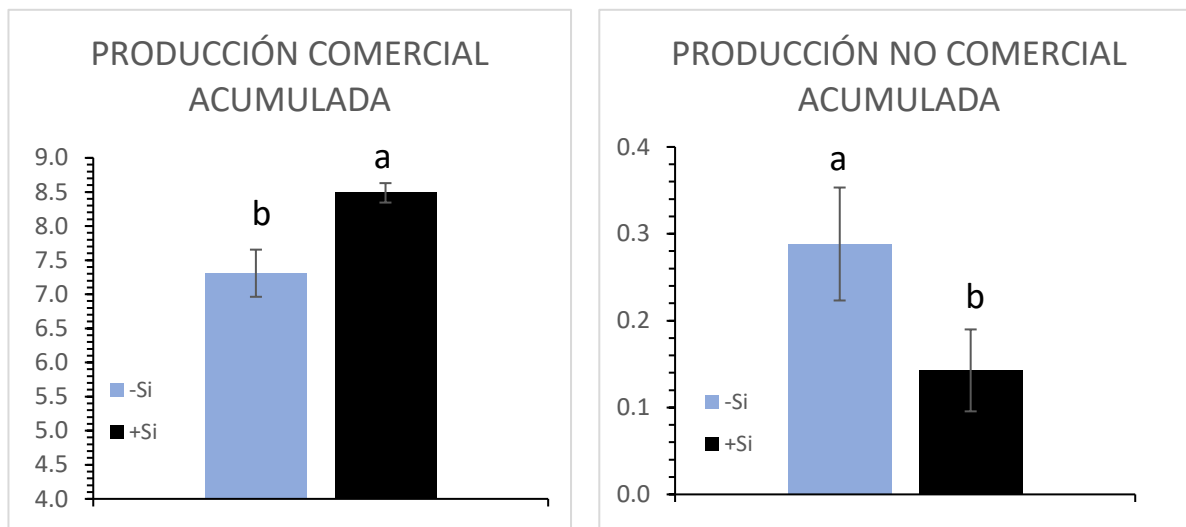


Figura 6.4: Producción comercial y no comercial acumulada (kg m⁻²) en un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para P ≤ 0.05.

Se observa (Figura 6.4) una diferencia significativa en tanto en la producción comercial acumulada como en la no comercial. Las plantas tratadas con la adición de silicio en la solución nutritiva +Si muestran un rendimiento de 8,2 kg m⁻², mientras que para -Si es de 7,4 kg m⁻², dándose así un incremento del 10% en producción comercial. La producción no comercial es mayor para -Si con 0,3 Kg m⁻², mientras que para +Si es de 0,15 kg m⁻², esto supone una producción total de 8,35 kg m⁻² para +Si y 7,7 kg m⁻² para -Si obteniendo un incremento del 8,5% en la producción total para las plantas con Si.

Si comparamos la producción obtenida 8,35 kg m⁻² con la obtenida por (Sánchez, 2006) que fue de 6,5 kg m⁻² para un cultivo de tomate tipo RAF tratado con aminoácidos se observa una diferencia significativa.

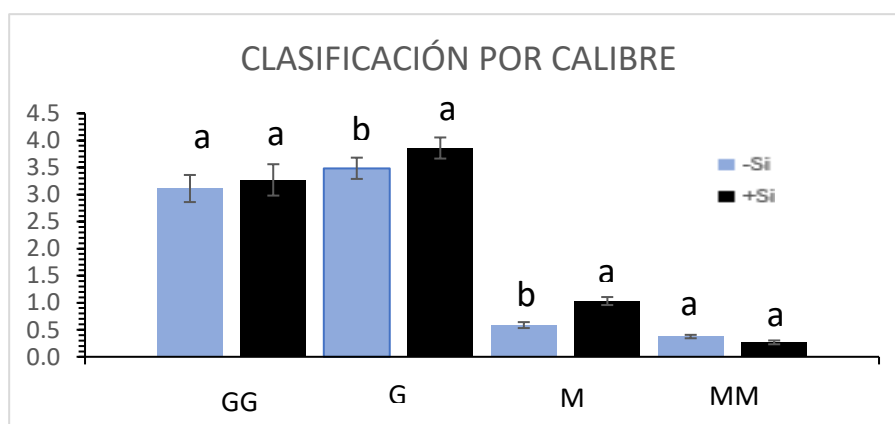


Figura 6.4: Clasificación por calibre (kg m⁻²) de frutos de un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para P ≤ 0.05.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

En la clasificación por calibre (Figura 6.4) podemos observar diferencias significativas en producción total para la categoría G, con 3,5 kg m⁻² en -Si y 3,9 kg m⁻² en +Si y en la categoría M, con 0,5 kg m⁻² en -Si y 1,01 kg m⁻² en +Si, debido a estas diferencias apreciamos la diferencia en la producción total mostrada anteriormente, en el resto de las categorías no se apreciaron diferencias significativas.

6.4. Parámetros de calidad de los frutos

Se muestra (Figura 6.5) la evolución y la media de los parámetros de calidad del fruto de tomate RAF, en el parámetro de °Brix no se aprecia diferencia significativa entre ambos tratamientos, en la evolución se puede observar como el valor de °Brix va incrementando a medida que transcurren las cosechas, ya que con el paso de las cosechas se iban obteniendo frutos de mayor calidad debido a un incremento progresivo de la CE del agua de riego.

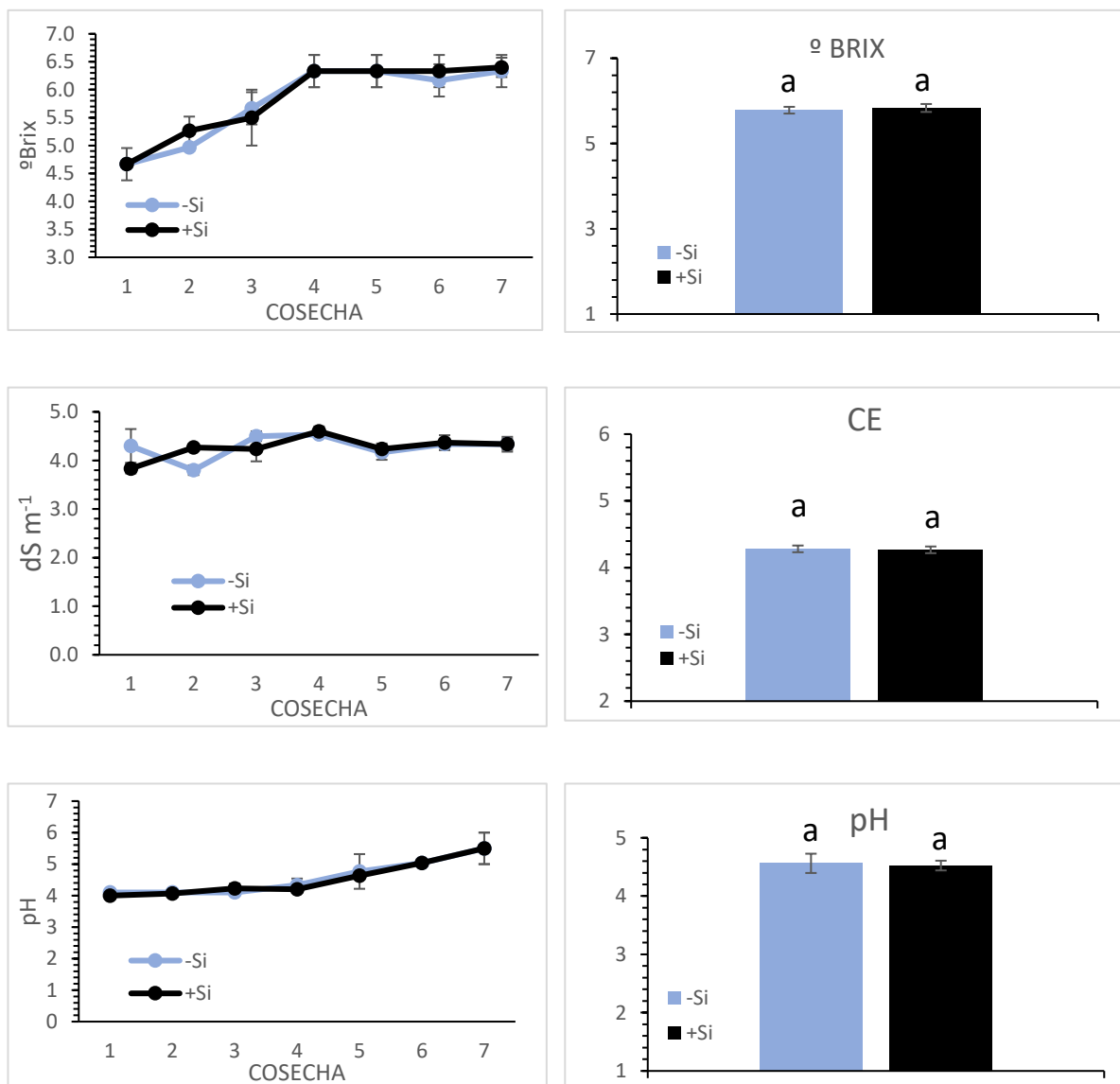


Figura 6.5: Evolución y media del pH , CE (dS m⁻¹) y grados Brix de frutos de los frutos en un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para P ≤ 0.05.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Se han obtenido frutos con un valor medio de 6ºBrix para ambos tratamientos, es un valor aceptable, pero es un valor por debajo de lo común en esta variedad ya que las variedades de tomate tipo RAF de alta calidad pueden alcanzar valores de hasta 12ºBrix si se le da un manejo adecuado, en comparación con otras variedades como tomate Pera (5-6º Brix), Rebelión (6-8 º Brix), Cherry (6-7ºBrix) (Casi, 2020).

También se muestra (Figura 6.5) la evolución y media de la CE del fruto, obteniéndose valores similares a lo largo de las cosechas y sin diferencias significativas. Se han obtenido frutos con una CE media de 4,3 dS m⁻¹ para ambos tratamientos.

La figura (Figura 6.5) muestra la evolución y media del pH de los frutos (Figura 6.5) en los que no se muestran diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí se observa un aumento del pH de los frutos para ambos tratamientos a medida que avanzan las cosechas. Se ha obtenido un valor medio del pH de 4,5 que se asemeja al obtenido en otro experimento (Sánchez, 2006) para un cultivo de tomate RAF que fue de 4,5.

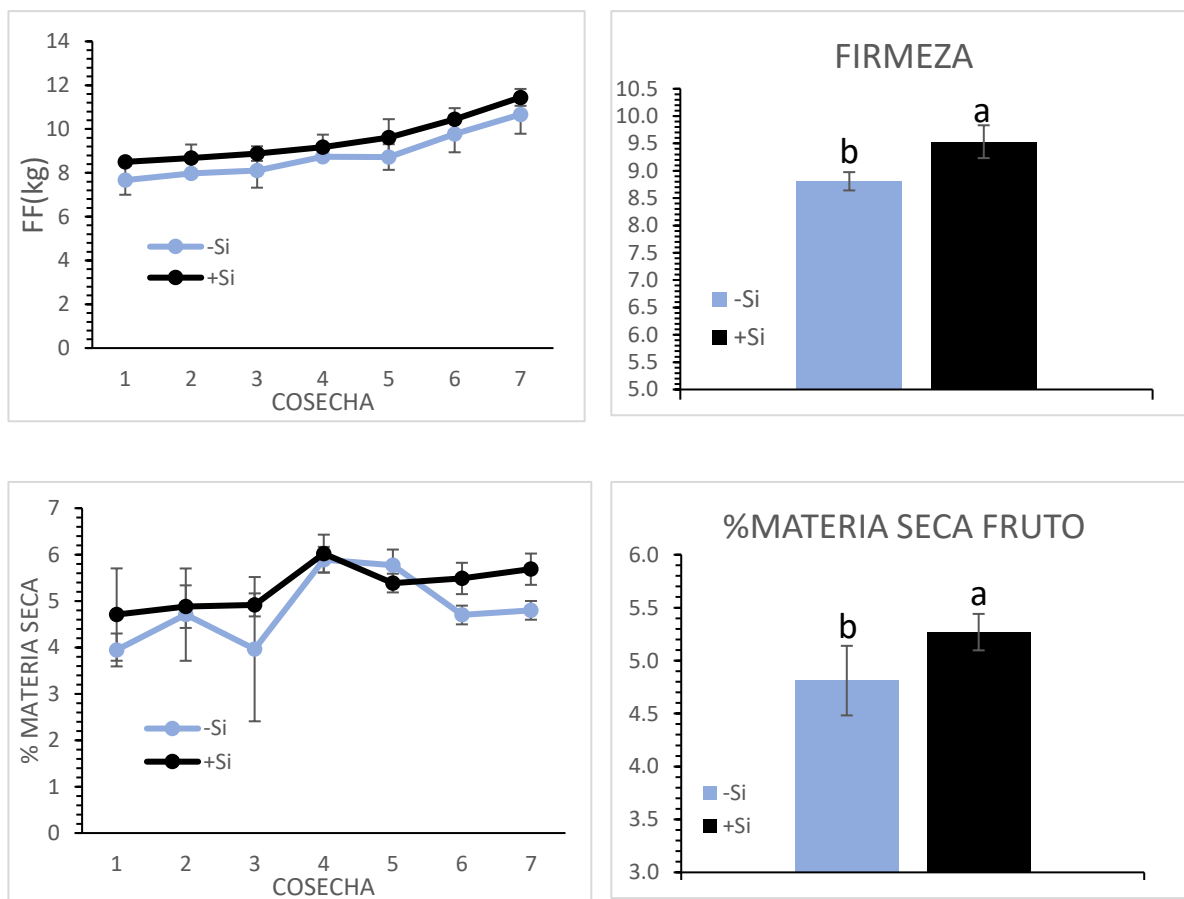


Figura 6.6: Evolución y media de la firmeza (kg) y materia seca (%) de frutos en un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para $P \leq 0.05$.

La figura (Figura 6.6) nos muestra que existe una diferencia significativa entre los frutos de -Si y +Si en las distintas cosechas se observa una evolución ascendente en los valores de

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

firmeza y se puede observar que los frutos +Si tienen mayor firmeza que los -Si, obteniéndose un valor medio final de 8,75 kg de fuerza para -Si y 9,5 kg de fuerza para +Si produciéndose así un incremento del 8,5% en la firmeza del fruto con la adición de silicio.

La firmeza de las variedades de tomate RAF es mayor que en otras variedades, en un trabajo realizado (Sánchez, 2006) se obtuvo una firmeza de 9,1 kg de fuerza en un cultivo de tomate RAF con aplicación de aminoácidos, otras variedades como por ejemplo en Daniela la firmeza es de 8 kg de fuerza y Vermone de 6,8 kg de fuerza (Casas et al, 1993).

Se puede apreciar diferencias significativas en el porcentaje de materia seca del fruto (Figura 6.6), los frutos de +Si presentan un mayor porcentaje de materia seca que en -Si obteniendo un resultado medio de 5,25% para +Si y un 4,75% para -Si obteniendo un incremento del 10% en el porcentaje de materia seca con la adición de silicio.

Los resultados se asemejan a los obtenidos por (Sánchez, 2006) que muestran un porcentaje de materia seca de 6% para la variedad de tomate RAF con un tratamiento de aminoácidos, se encuentran en los valores normales de materia seca en fruto de tomate (5-10%).

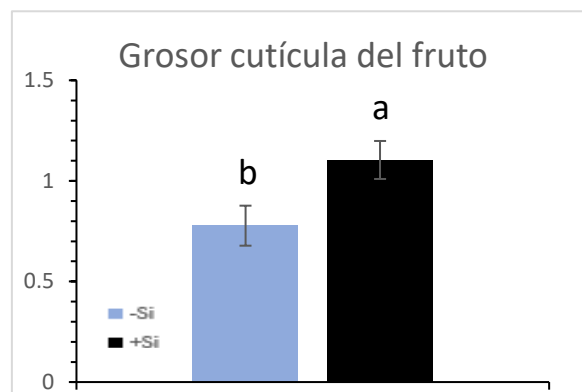


Figura 6.7: Grosor de la cutícula (mm) en frutos en un cultivo de tomate tipo RAF. Las diferentes letras indican diferencias significativas para $P \leq 0.05$.

La figura (Figura 6.7) muestra los valores medios del grosor de la cutícula del fruto, se observa el incremento del grosor de la cutícula del fruto con el tratamiento de silicio en el que se apreciaron diferencias significativas con un valor de 0,70 mm para -Si y 1,01 mm para +Si, mostrando un incremento del 40%.

El grosor de la cutícula del fruto muestra diferencias significativas con el de otras variedades estudiadas (Padalgay, 1983) donde se obtuvieron resultados para distintas variedades de tomate, Petomech II (0,69 mm), H-324-1 (0,84 mm) o Ventura (0,54 mm).

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

7. CONCLUSIONES

La aplicación de silicio en la disolución nutritiva en plantas de tomate tipo RAF favorece el crecimiento vegetativo entre un 5-10%, proporcionando mejorías en el vigor de la planta.

Favorece el consumo hídrico incrementándolo hasta un 3% mejorando el aprovechamiento de los recursos hídricos, esto aporta a la planta una mayor tolerancia a la sequía y salinidad, además favorece en la absorción de nutrientes esenciales.

Proporciona un aumento en la producción, incrementándolo en hasta un 8%, además reduce los valores de producción no comercial dados los resultados de producción obtenidos.

Con respecto a la calidad el fruto el silicio aporta mayor firmeza a los frutos, mejorando así su periodo de postcosecha, además proporciona un aumento en el grosor de la cutícula del fruto.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, J., Anastasio, G. (1997). Recuperación del sabor en el tomate. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (122), pp 71-77.
- Abad, M. (1991). Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. *La horticultura española en la CE*. Ediciones de Horticultura. Reus, España, pp 270-280.
- Abad, M., Noguera, P., Carrión, C. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. *Tratado de cultivo sin suelo*, 3, pp 113-158.
- Abad, M., Noguera, P., Noguera, V., Roig, A., Cegarra, J., Paredes, C. (1997). Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 19, pp 92-109.
- Adams, P. (1991). Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *Journal of Horticultural Science*, 66(2), pp 201-207.
- Arnon, D. I., Hoagland, D. R. (1940). Crop production in artificial culture solutions and in soils with special reference to factors influencing yields and absorption of inorganic nutrients. *Soil Science*, 50, pp 463-485.
- Balakhnina, T., Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *International Agrophysics*, 27(2).
- Calero, F. A. (1999). Nuevas tendencias en la postrecolección de tomate fresco. *Alimentación, equipos y tecnología*, 18(5), pp 143-151.
- Camacho, F. F., Fernández, E. J. (2008). *Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. pp 169.
- Casas, J.L., Moreno, A., Cuartero, J., Artes, F., Marín, G., Acosta, M. (1993). Comportamiento post-cosecha de frutos de tomate de larga duración. En: *La calidad en frutas y hortalizas* (M.A.Albi, F. Gutiérrez y M. Roca eds.), pp 353-358.
- Castilla, N. (1993). Greenhouses in the Mediterranean area: technological level and strategic management. In *International Symposium on New Cultivation Systems in Greenhouse* 361, pp 44-56.
- Cooper, A. (1979). *The ABC of NFT. Nutrient film technique*. Grower Books.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Cuartero, J., Fernández, R. (1996). Calidad de las hortalizas para consumo en fresco. Horto Información, 78, pp 34-38.

Cuartero, J., Orihuel, B., Artés, F., Castilla, N. R. A. (1995). Debate sobre calidad en los productos hortícolas. Boletín informativo de la SECH, 7(3), pp 8-10.

Davies, J. N., Massey, D. M., Winsor, G. W. (1959). The effect of defoliating tomato plants on fruit composition. The effect of defoliating tomato plants on fruit composition.

De Liñán, C. (2005). Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales. Ediciones Agrotécnicas S.L., Madrid, pp 286-288.

Domeño, I., Irigoyen, N., Muro, J. (2009). Evolution of organic matter and drainages in wood fibre and coconut fibre substrates. Scientia horticulturae, 122(2), pp 269-274.

Epstein, E. (1999). Silicon. Annual review of plant biology, 50(1), pp 641-664.

Eshed, Y., Zamir, D. (1994). Intorsions from *Lycopersicon pennellii* can improve the soluble-solids yield of tomato hybrids. Theoretical and Applied Genetics, 88(6-7), pp 891-897.

Fossati, M., Santoro, P., Urrestarazu, S., Piedra-Cueva, I. (2011). Numerical study of the effect of a power plant cooling water discharge in the Montevideo Bay. Journal of Applied Mathematics.

George, T. A., Tisdale, R. C. (1985). Reactions of coordinated dinitrogen. New mono dinitrogen complexes of molybdenum that produce ammonia and hydrazine. Journal of the American Chemical Society, 107(18), pp 5157-5159.

Gierson, D., Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. The tomato crop. Springer, Dordrecht, pp 241-280.

González, A. (2013). Introducción al cultivo de tomate en invernadero. Almería. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, pp 1-35.

Gormley, R., Egan, S. (1978). Firmness and colour of the fruit of some tomato cultivars from various sources during storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 29(6), pp 534-538.

Grierson, D.; Kader, A.A. (1986). Fruit ripening and quality. The tomato crop: A Scientific basis for improvement (Atherton, J. G.; Rudich, J; eds), pp 241-280.

Guntzer, F., Keller, C., Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. Agronomy for Sustainable Development, 32(1), pp 201-213.

- Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.
- He, H., Veneklaas, E. J., Kuo, J., Lambers, H. (2014). Physiological and ecological significance of biomineralization in plants. *Trends in plant science*, 19(3), pp 166-174.
- Hewitt, E. J. (1966). Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition.
- Hewitt, J., Stevens, M.A. (1981). Growth analysis of two genotypes differing in total fruit solids content. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 106, pp 723-727.
- Ho, L. C., Hewitt, J. D. (1986). Fruit development. In *The tomato crop*, Springer, Dordrecht, pp 201-239.
- Hodson, M. J., White, P. J., Mead, A., Broadley, M. R. (2005). Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of botany*, 96(6), pp 1027-1046.
- Kader, A. A. (1993). Postharvest handling. *The Biology of Horticulture: An Introductory Textbook*, pp 353-377.
- Kavanagh, E. E., McGlasson, W. B., McBride, R. L. (1986). Harvest maturity and acceptability of Flora-Dade tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111, pp 78-82
- Kim, S. G., Kim, K. W., Park, E. W., Choi, D. (2002). Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathology*, 92(10), pp 1095-1103.
- Lin, W. C., Glass, A. D. M. (1997). The effects of NaCl addition and macronutrient concentration on fruit quality and flavour volatiles of greenhouse tomatoes. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics* 481, pp 487-494.
- Little, T. M., Hills, F. J. (1989). *Statistical methods in agricultural*. Trillas. México.
- López Camelo, A. F. (2003). Capítulo 5. La calidad en frutas y hortalizas. *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado*, pp 95-111.
- Ma, J. F., Miyake, Y., Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. In *Studies in plant Science*, Vol. 8, pp 17-39.
- Martínez, E., García, M. (1993). *Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo*. Caja Rural de Granada (España).
- Mazuela, P., Urrestarazu, M. (2009). The effect of amendment of vegetable waste compost used as substrate in soilless culture on yield and quality of melon crops. *Compost science and utilization*, 17(2), pp 103-107.

- Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.
- Mendilier, S. (1994). Effect of increasing plant density and salinity on yield and fruit quality in muskmelon. *Scientia Horticulturae* 57, pp 41-49.
- Padalgay, L., Ruíz, M. (1983). Estructura histológica de la piel de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en relación con su resistencia mecánica. *Anales del INIA. Serie agrícola España*. (no 22), pp 71-83.
- Paulitz, T. C., Bélanger, R. R. (2001). Biological control in greenhouse systems. *Annual review of phytopathology*, 39(1), pp 103-133.
- Pérez-Alfocea, F., Balibrea, M. E., Bolarín, M. C., Cuartero, J. (1997). Efecto de la salinidad sobre el rendimiento y la calidad del fruto en *Lycopersicon esculentum*, *L. pimpinellifolium* y en sus híbridos interespecíficos. *Actas de Horticultura*, 16, pp 243-247.
- Petersen, R.G., 1994. *Agricultural Field Experiments. Design and Analysis*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp 409.
- Pozo, J., Alvaro, J. E., Morales, I., Requena, J., La Malfa, T., Mazuela, P. C., Urrestarazu, M. (2014). A new local sustainable inorganic material for soilless culture in Spain: Granulated volcanic rock. *HortScience*, 49(12), pp 1537-1541.
- Pozo, J., Urrestarazu, M. (2015). Beneficios de la aplicación de silicio en el cultivo de tomate sin suelo. *Vida rural*, (393), pp 72-80.
- Pozo, J., Urrestarazu, M., Morales, I., Sánchez, J., Santos, M., Diáñez, F., Álvaro, J. E. (2015). Effects of silicon in the nutrient solution for three horticultural plant families on the vegetative growth, cuticle, and protection against *Botrytis cinerea*. *HortScience*, 50(10), pp 1447-1452.
- Raven, J. A. (2001). Silicon transport at the cell and tissue level. Elsevier. *Studies in plant science*. Vol. 8, pp. 41-55..
- Reche, J. (2010). *Cultivo del tomate en invernadero*, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- Resh, H. (1992) *Cultivos hidropónicos*. 2° ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp 369.
- Riquelme, F. (1995). Postcosecha del tomate para consumo en fresco. *El cultivo del tomate*, pp 589-623.
- Sánchez, L. (2006). Efecto de la aplicación de aminoácidos en la producción y calidad del tomate R.A.F. en perlita. Trabajo fin de grado.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

- Shewfelt, R. L., Thai, C. N., Davis, J. W. (1988). Prediction of changes in colour of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *Journal of Food Science*, 53(5), pp 1433-1437.
- Sonneveld, C., Straver, N. (1994). Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. *Voedingspolossingen glastijnbouw*, 8, pp 1-33.
- Takahashi, E. (1978). Silica uptake by plant with special reference to the forms of dissolved silica. *J. Sci. Soil Manure, Japón.*, 49, pp 357-360.
- Urrestarazu, M. (2013). State of the art and new trends of soilless culture in Spain and in emerging countries. In *International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis 1013*, pp 305-312.
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Urrestarazu, M., (2004) *Tratado de cultivo sin suelo*. En: *Bases y sistemas de los cultivos sin suelo*. Ed. Mundi-Prensa 3ª ed, pp 914 .
- Urrestarazu, M., Martínez, G. A., Del Carmen Salas, M. (2005a). Almond shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Horticulturae*, 103(4), pp 453-460.
- Urrestarazu, M., Mazuela, P, Del Castillo, J, Sabada, S., Muro, J. (2005c). Fibra de pino: un sustrato ecológico. *Horticultura internacional*, 49, pp 28-33.
- Urrestarazu, M., Mazuela, P. C. (2005). Effect of slow-release oxygen supply by fertigation on horticultural crops under soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 106(4), pp 484-490.
- Urrestarazu, M., Mazuela, P. C., Boukhalifa, A., Arán, A., Del Carmen Salas, M. (2005c). Oxygen content and its diurnal variation in a new recirculating water soilless culture for horticultural crops. *HortScience*, 40(6), pp 1729-1730.
- Urrestarazu, M., Nájera, C., Gallegos, V. (2016). Efectos del silicio en cultivos hortícolas. *Nuestro Campo*, 46, pp 19-23.
- Urrestarazu, M., Salas, M. C. (2002). El papel de los cultivos sin suelo en la moderna agronomía. *Vida rural*, (145), pp 54-57.
- Van Bockhaven, J., De Vleeschauwer, D., Höfte, M. (2013). Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. *Journal of experimental botany*, 64(5), pp 1281-1293.

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Winsor, G. W. (1976). Changes in the composition and quality of tomato fruit throughout the season. Anu. Rep. Glasshouse Crop Res. Inst. 1975, pp 134-142.

Yoshida, S. (1981). Fundamentals of rice crop science. Int. Rice Res. Inst.

Páginas web:

BOE, (2000). Reglamento (CE) nº 790/2000 de la Comisión, de 14 de abril de 2000, por el que se establecen las normas de comercialización de los tomates. Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-80643>.

Casi, (2020). Tomate CASI online. Visitado el 21 de mayo 2020. Disponible en: <https://tomatecasi.online/>

Diario de Almería, (2020). Crece la competencia de tomate holandés en los últimos cinco años. Visitado el 22 de mayo 2020. Disponible en : https://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/Crece-competencia-tomate-holandes_0_1365463808.html

FAO, (2016). Datos de producción de cultivos mundiales. Visitado el 15 de abril 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.

Fitosofía, (2015) Cultivo de tomate raf en invernadero. Visitado el 7 de mayo 2020, Disponible en: <https://fitosofia.blogspot.com/2015/12/cultivo-de-tomate-raf-en-invernadero.html>

Google Maps, (2020). Universidad de Almería. Visitado el 1 de mayo 2020. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Universidad+de+Almer%C3%ADa/@36.8290435,2.4085415,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd7a9c2188f8d897:0x18f22cf3aafe035b!8m2!3d36.8290435!4d-2.4063528>.

Hortoinfo, (2017). Precio medio tomate década. Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/1398-prec-tom-dec-270716>.

Infoagro. (2007). Introducción al cultivo de tomate raf en Almería. Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: https://www.infoagro.com/hortalizas/tomate_raf.htm

Infoagro. (2020). Agroinformación. El cultivo del tomate. (2020). Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: <https://www.infoagro.com/hortalizas/tomate3.htm>

Infoagro. (2020). Los cultivos hidropónicos de hortalizas extratempranas. Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: https://www.infoagro.com/riegos/hidroponicos_hortalizas_extratempranas.htm

Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo.

Labin Fertil (2019). Un formulado de silicio, clave para la agricultura. Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: https://www.comunicae.es/nota/labin-fertil-un-formulado-de-silicio-clave_1-1204997/

Seminis, (2016). Portainjertos de tomates. Visitado el 5 de mayo 2020. Disponible en: <https://www.seminis.es/porta-injertos-de-tomates/>

Mapa, (2019). Superficies y producciones anuales de cultivos. (2019). Visitado el 7 de mayo 2020. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>

El silicio es un elemento beneficioso para las plantas porque actúa como nutriente mejorando su asimilación y porque refuerza sus defensas ante el estrés abiótico, enfermedades o condiciones adversas. La calidad, dosis y forma de manejo de los productos que contienen silicio en su formulación es la que puede justificar un éxito de su funcionamiento frente a la protección de plagas y enfermedades, pero también sobre el vigor tanto en la producción de biomasa vegetal como en los frutos. El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación del efecto de la adición de silicio en la solución nutritiva utilizada en plantas de tomate tipo RAF injertadas cultivadas en fibra de coco para conocer los posibles beneficios que el silicio puede aportar a este cultivo cuando se utiliza como elemento nutricional en el fertirriego a través de la medida de diferentes parámetros fisiológicos, de producción y de calidad de los frutos.

