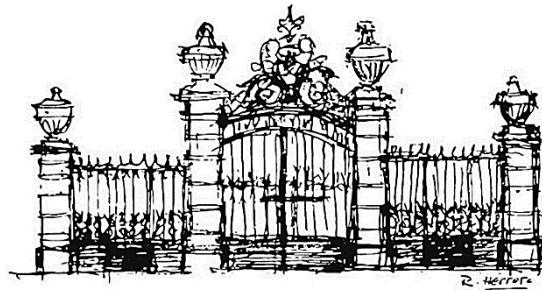


**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS**



**ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS OLAS DE  
CALOR SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE DE  
INDUSTRIA EN EXTREMADURA**

Álvaro Vergara Sevilla

Badajoz, enero 2024



# ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS OLAS DE CALOR SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE DE INDUSTRIA EN EXTREMADURA

**AUTOR:** Álvaro Vergara Sevilla

## DIRECTOR/ES:

### Director

Firmado por ALARCON SANCHEZ MARIA  
VICTORIA - 22645704L el día  
18/01/2024 con un certificado emitido  
por AC FNMT Usuarios

**Fdo:** M<sup>a</sup> Victoria Alarcón Sánchez

### Codirector

Firmado por SALGUERO HERNANDEZ  
JULIO - \*\*\*0562\*\* el día 18/01/2024  
con un certificado emitido por AC  
FNMT Usuarios

**Fdo:** Julio Salguero Hernández

## TRIBUNAL CALIFICADOR:

Vocal

Presidente

Secretario

Fdo: .....

Fdo: .....

Fdo: .....

**Fecha de lectura:**



La elaboración de este Trabajo Fin de Máster ha sido posible gracias a los proyectos de investigación **PID2021-127345OR-C33**: “Validación y aplicabilidad de ET de teledetección y parámetros biofísicos de la vegetación para el manejo del riego a escala de campo”, que tiene como investigador principal al Dr. Carlos Campillo, y Estrategia AGROS “Sostenibilidad de las producciones hortofrutícolas en los regadíos de Extremadura”, cuyo investigador principal es la Dra. M. Henar Prieto, ambos desarrollados en el Área de Agronomía de Cultivos Leñosos y Hortícolas del Instituto de Investigaciones Agrarias Finca “La Orden -Valdesequera” del Centro Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX), Junta de Extremadura.

Quiero agradecer al CICYTEX el uso de las instalaciones de campo y laboratorio durante la realización del trabajo, en especial al Laboratorio de Biología Celular y Microscopía (LBCM).

Por último, agradecer al personal investigador perteneciente al Área de Agronomía de Cultivos Leñosos y Hortícolas, y en especial a Eugenio Márquez y Manuela Lavado, tanto por su apoyo en la realización de los trabajos como por su apoyo incondicional durante ese periodo.



Consejería de Educación, Ciencia y Formación Profesional



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
DE EXTREMADURA





## ÍNDICE

1. Resumen .....	01
2. Introducción .....	03
2.1. La planta de tomate. Historia, evolución y situación actual .....	04
2.2. Descripción y cultivo de la planta de tomate.....	07
2.2.1. Descripción etimológica y taxonómica de la planta de tomate .....	07
2.2.2. Descripción botánica y fisionómica de la planta de tomate.....	07
2.2.3. Fenología y fases en el cultivo de la planta de tomate.....	10
2.2.4. Necesidades edafoclimáticas y agronómicas de la planta de tomate.....	12
2.3. Efectos fisiológicos del calor sobre la planta de tomate .....	13
2.4. Problemática de las olas de calor. Previsiones del cambio climático .....	15
3. Objetivos .....	17
4. Material y métodos.....	19
4.1. Análisis del efecto de las olas de calor sobre el desarrollo reproductivo .....	24
4.2. Análisis del efecto de las olas de calor sobre el desarrollo vegetativo .....	30
4.3. Análisis del efecto de las olas de calor sobre la producción final .....	30
4.4. Análisis del efecto de las olas de calor sobre la calidad de los frutos .....	31
4.5. Herramientas y métodos estadísticos para el tratamiento de los datos.....	32
5. Resultados y discusión .....	33
5.1. Efecto de las olas de calor sobre el desarrollo reproductivo .....	34
5.2. Efecto de las olas de calor sobre el desarrollo vegetativo .....	42
5.3. Efecto de las olas de calor sobre la producción final .....	45
5.4. Efecto de las olas de calor sobre la calidad de los frutos .....	47
6. Estudio económico .....	53
7. Conclusiones .....	56
8. Bibliografía.....	58





## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Evolución de la superficie cultivada y producción mundial de tomate (FAO, 2023) .....	05
Figura 2. Evolución de la superficie cultivada y producción nacional de tomate (MAPA, 2023).....	05
Figura 3. Reparto de la superficie cultivada de hortalizas en 2021 (FAO, 2023; MAPA, 2023).....	06
Figura 4. Representación de las fases que atraviesa el cultivo de tomate (Campillo et al., 2015) .....	11
Figura 5. Enumeración esquemática de los efectos del calor sobre el tomate de industria .....	13
Figura 6. Traducción propia de la síntesis realizada por el IPCC (2023) de la evaluación del (...)	16
Figura 7. Localización del ensayo dentro de la parcela 96 del polígono 3 de la finca La Orden .....	20
Figura 8. Esquema con la distribución en planta de los tratamientos sobre la parcela del ensayo .....	22
Figura 9. Visión general de los diferentes ambientes simulados en la parcela y su colocación .....	23
Figura 10. Detalles de los criterios de valoración de ramos florales en el estudio de reproducción .....	24
Figura 11. Ramillete floral encapuchado en campo y contenido final de las bolsas .....	25
Figura 12. Tinción de Alexander para estudiar la viabilidad del polen y detalles al microscopio.....	26
Figura 13. Dispensador de parafina, orientación de la muestra, microtomo y colocación en portaobjetos.....	28
Figura 14. Resultados de los portaobjetos con las secciones, tinción y herramientas de observación .....	29
Figura 15. Recolección de las plantas en campo para el crecimiento vegetativo y medición .....	30
Figura 16. Recolección de los frutos en campo, clasificación por color y obtención del peso .....	31
Figura 17. Medida del pH, imagen para el conteo de semillas y balanza de pesada .....	32
Figura 18. Efecto de los ambientes en la evolución de la longitud del ramo por tratamiento y semana .....	34
Figura 19. Efecto de los ambientes en la evolución de los órganos del ramo por tratamiento y semana .....	35
Figura 20. Efecto de los ambientes en las medidas sobre el polen por tratamiento y semana .....	39
Figura 21. Fotografía al microscopio de los cortes de ovario de una flor perteneciente al control .....	41
Figura 22. Comparación de fotografías de cortes de ovario entre ambientes.....	42
Figura 23. Efecto de los ambientes en las medidas de crecimiento vegetativo por tratamiento.....	43
Figura 24. Efecto de los ambientes en las medidas de rendimiento por tratamiento.....	45
Figura 25. Efecto de los ambientes en las medidas de calidad de tamaño y forma por tratamiento .....	47
Figura 26. Efecto de los ambientes en las medidas de calidad físico - químicas por tratamiento .....	49
Figura 27. Efecto de los ambientes en las medidas de semillas/fruto por tratamiento .....	51
Figura 28. Detalle de cortes longitudinales de frutos maduros que presentan partenocarpia.....	52
Tabla 1. Dosis de riego, fertilización y tratamientos aplicados a todas las plantas de la parcela .....	21
Tabla 2. Temperaturas medias diurnas y nocturnas en los tres ambientes durante el ensayo .....	23
Tabla 3. Protocolo de inclusión seguido con las muestras de flores.....	27
Tabla 4. Efecto de los tratamientos en las medidas de desarrollo reproductivo por ambiente .....	37
Tabla 4. Efecto de los tratamientos en las medidas sobre el polen por ambiente.....	40
Tabla 4. Efecto de los tratamientos en las medidas de crecimiento vegetativo por ambiente .....	44
Tabla 4. Efecto de los tratamientos en las medidas de rendimiento por ambiente .....	46
Tabla 4. Efecto de los tratamientos en las medidas de calidad de tamaño y forma por ambiente .....	48
Tabla 4. Efecto de los tratamientos en las medidas de semillas/fruto por ambiente.....	50
Tabla 10. Flujos de caja de la hipótesis base para el estudio económico .....	54
Tabla 11. Ratios económicos para distintos supuestos de ola de calor el primer, segundo y tercer año.....	55
Tabla 12. Balances económicos de cada tratamiento por ambiente pajo ola de calor .....	55



## **1. RESUMEN**

## RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es la segunda hortaliza más cultivada del mundo, siendo el más extendido en Europa, España, y Extremadura que, en 2021, produjo el 70 % del total nacional. Entre sus destinos destaca la elaboración de concentrados industriales, para lo que se cultiva exclusivamente al aire libre, estando la plantación expuesta a inclemencias del clima durante todo su ciclo de crecimiento, en especial a la temperatura y más concretamente a las olas de calor. Un estrés térmico de estas características mantenido en el tiempo implica una gran cantidad de efectos negativos sobre la reproducción, desarrollo vegetativo, rendimiento y calidad del fruto en las plantas de tomate. Resulta por ello importante su estudio para cuantificar los perjuicios que provoca, así como diseñar estrategias para intentar paliar sus consecuencias.

Con este fin, en el presente trabajo se han establecido en campo dos tipos de estructuras de manipulación climática durante el mes de julio, para aumentar la temperatura hasta 31/21 °C y 31/26 °C respecto a la media de 28/21 °C (diurna/nocturna). En base a ello, se ha ensayado un control y tres tratamientos de mitigación del calor en cada ambiente mediante la aplicación de un producto dinamizador de suelos, doble riego por goteo durante el periodo de calor y aspersión diaria en el lapso del estrés térmico. A lo largo del estudio se ha analizado la evolución de las inflorescencias y el crecimiento vegetativo bajo las condiciones de la ola de calor, cuantificado su efecto en la producción y descrito los detrimentos sobre parámetros de calidad de los frutos.

Los aumentos de temperatura alcanzados con las estructuras de manipulación climática no han reproducido todas las respuestas a las altas temperaturas descritas en la bibliografía. Sin embargo, las condiciones ambientales ensayadas han reducido la cantidad de polen, causado alteración en tejidos del ovario, ocasionado muerte de flores e inflorescencias, lastrado el rendimiento final y modificado parámetros de calidad del fruto, como el peso unitario, acidez, contenido en sólidos totales y color. Cada tratamiento sirvió para atenuar diferentes facetas del estrés térmico, mostrándose todos válidos en evitar una gran pérdida de producción a 31/26°C, destacando la aplicación del dinamizador de suelos por ser el más retributivo económicamente.

## **2. INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

### 2.1. La planta de tomate. Historia, evolución y situación actual

La tomatera (*Solanum lycopersicum L.*) es una planta de porte herbáceo anual o perenne perteneciente a la familia de las solanáceas (*Solanaceae*) junto con más de 3.000 especies, como la patata o el pimiento, repartidas entre una gran variedad de hábitats (Knapp, 2002). Es cultivada por su fruto, el tomate, utilizado principalmente en alimentación, tanto fresco como procesado.

La forma silvestre de este vegetal se originó en la cordillera de los Andes, en Sudamérica, en los valles del centro de Ecuador, Perú y el norte de Chile, cuyas diversas características dieron lugar a gran cantidad de variedades distintas (Peralta y Spooner, 2006). Al igual que se conoce su origen, se sabe que fue domesticada en tiempos precolombinos (Razifard et al., 2020), pero el lugar es un misterio, debatiéndose entre México (Jenkins, 1948) y Perú (DeCandolle, 1959). De cualquier manera, a comienzos del siglo XVI alcanzó el Viejo Continente, siendo documentada y descrita ya por numerosos autores como Matthiolus (1544), Dodoens (1553), Gesner (1561), L' Obel (1576), Tabernaemontanus (1591)... En un principio se cultivó en jardines, a modo de planta ornamental, pues sus frutos se consideraban incomibles y venenosos, debido a su parecido con los de la mandrágora y belladona (Bergougnoux, 2014). No obstante, acabaron aceptándose en las cocinas del sur de Europa, sobre todo en Italia, tras la obra de Filippo (1811), quién definió algunos de sus usos en el ámbito culinario. También la bibliografía (McCue, 1952) mostró un cambio de parecer al respecto, con los escritos de Loudon (1821) o las recetas de Albert (1822), aumentando exponencialmente desde entonces su consumo, cultivo y mejora (Gualazzi, 1997).

Respecto a este último punto, cabe destacar que la planta de tomate cultivada en la región andina en tiempos precolombinos era muy diferente a la encontrada actualmente. El traslado de especies de un sitio a otro, la presión del medio ambiente, la disminución de especies de insectos polinizadores y la elección por el hombre de plantas autofértiles, fue provocando una desviación genética que resultaría en las variedades cultivadas a partir del siglo XIX (Gualazzi, 1997). Sin embargo, el proceso de mejora no finalizaría en esa época, pues desde entonces, y especialmente desde 1970, la polinización controlada y nuevas técnicas de biotecnología han permitido lograr variedades con mayor producción o más adaptadas a las necesidades de los consumidores, como las “*Long Self Life*” (Juan - Cabot et al., 2022), o tomates púrpuras transgénicos, que producen antocianinas en el fruto (Butelli et al., 2021). En un futuro, este proceso debe continuar y hacer frente a nuevos problemas, fundamentalmente a problemas fitosanitarios y al cambio climático.

En la actualidad, según la FAO 2023, el tomate es la segunda hortaliza más cultivada del mundo (9%) y la primera en Europa (14%), con una producción que ha ido creciendo durante los últimos años [Figura 1], que tiene a China a la cabeza, seguida de India, Turquía, EEUU e Italia.

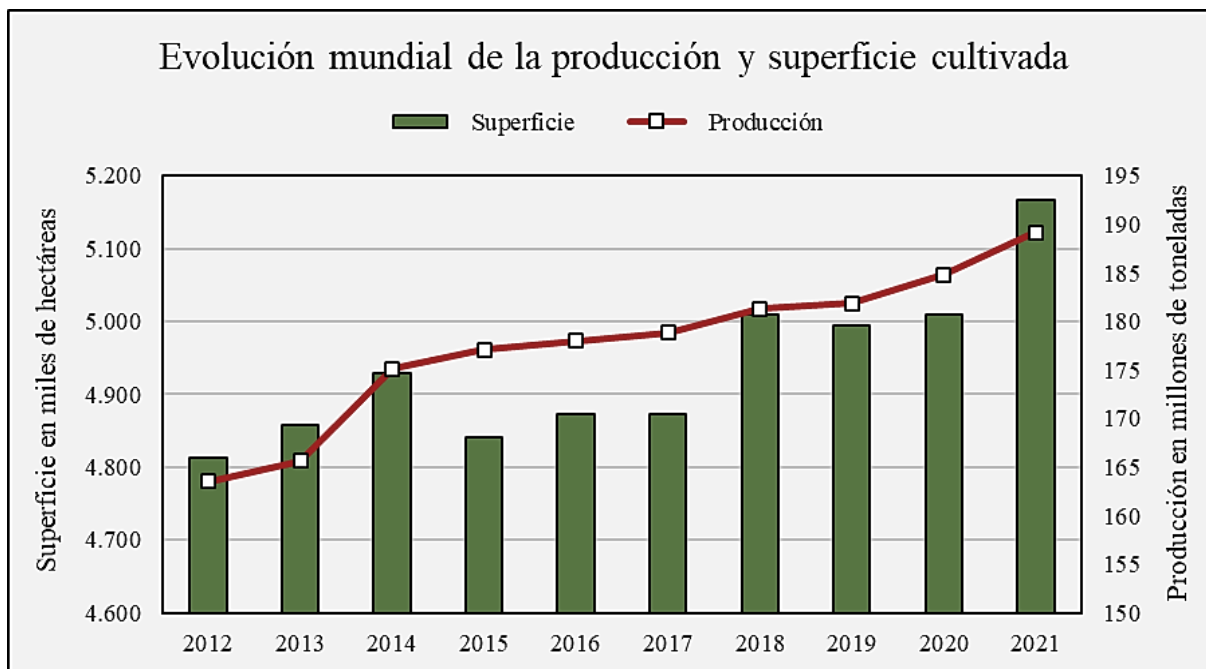


Figura 1. Evolución de la superficie cultivada y producción mundial de tomate (FAO, 2023).

Por su parte, España ocupó en 2021 el séptimo lugar mundial en producción (4.754.380 t) y decimoséptimo en superficie (56.106 ha), según datos de la FAO 2023. No obstante, en 2023 disminuyeron ambas cifras hasta 45.357 ha (un 19,2%) y 3.726.600 t (21,6%), según el MAPA.

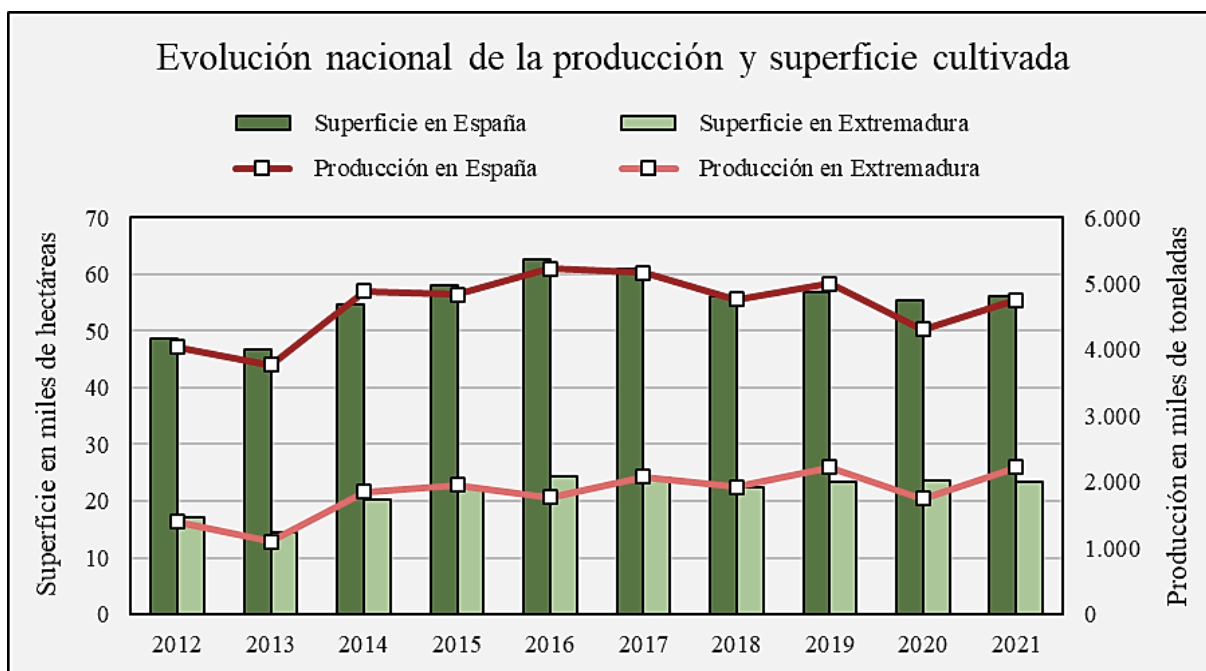


Figura 2. Evolución de la superficie cultivada y producción nacional de tomate (MAPA, 2023).

De las comunidades autónomas españolas, Extremadura es la que más superficie destina al cultivo de tomate, 17.784 ha en 2022 (el 76 % de la superficie de 2021), y la que más produce, en 2022, 1.550.848 t (el 70 % de la producción de 2021), dependiendo en gran medida de ella el sector nacional [Figura 2] y siendo la hortaliza regional más relevante en 2021 (76 %) [Figura 3].

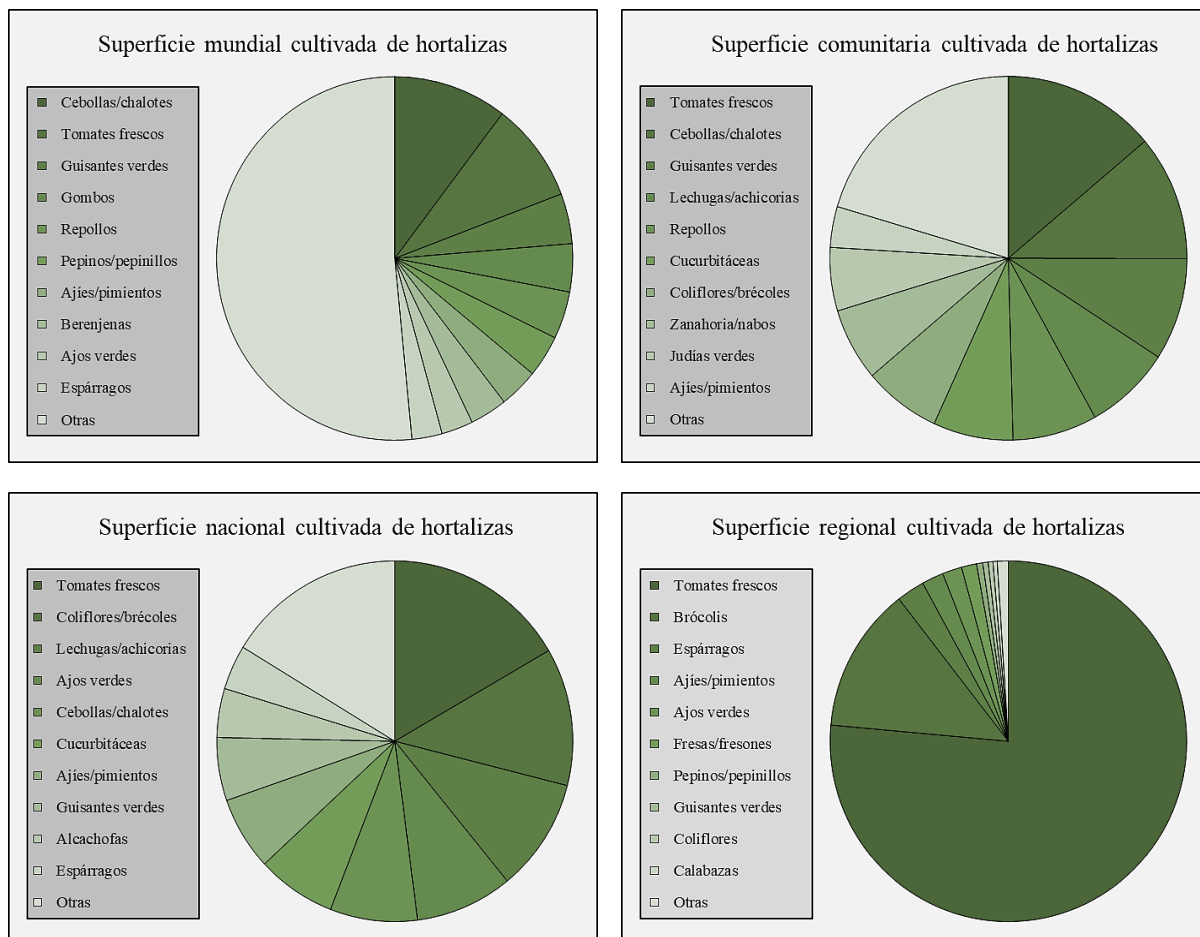


Figura 3. Reparto de la superficie cultivada de hortalizas en 2021 (FAO, 2023; MAPA, 2023).

Todas las cifras aportadas con anterioridad permiten comprender por qué el tomate se ha convertido, desde el punto de vista económico, en uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo, tanto por su consumo en crudo como en derivados (Pavan et al, 2009). Y es que, según el World Processing Tomato Council (WPTC), más de la quinta parte de la cosecha de este fruto se destina a elaborar derivados industriales, 39,2 millones de toneladas durante 2021, un sector más concentrado que la producción, principalmente en EEUU (California), Italia, China, España y Turquía. En España, según el Observatorio Tecnológico del Tomate para Industria, se cultivan de media alrededor de 3 millones de toneladas para este fin, aunque en 2022, esta cifra se redujo un 34 %, hasta 2,1 millones de toneladas, el 5,6 % de las 37,26 millones de toneladas cosechadas en el mundo para el procesado industrial. Dentro del país, cabe destacar a la región extremeña, que representa el 77,52 % de esta producción, destinado al triturado y la concentración en polvo.



## 2.2. Descripción y cultivo de la planta de tomate

### 2.2.1. Descripción etimológica y taxonómica de la planta de tomate

La tomatera es una planta herbácea angiosperma (filo *Magnoliophyta*) dicotiledónea que pertenece al orden *Solanales*. Su nombre puede provenir de la palabra nahua mexicana “*tomatl*”, referida a “*plantas que dan frutos globosos y jugosos*” (Jenkins, 1948; Bauchet y Causse, 2012), pero se han referido a ella y a sus bayas de otras formas a lo largo del tiempo. Así, por ejemplo, debido a su color rojo, Matthioli (1554) denominó al tomate “*pomi d’oro*” (manzana dorada), apelativo por el que se conocería, junto con el de “*poma amoris*” (manzana del amor), hasta el siglo XIX, pues entonces se creían poderes afrodisiacos en las frutas (Peralta y Spooner, 2006).

En cuanto a taxonomía, el nombre científico de su especie y, sobre todo, el género en el que se incluye la tomatera, han sido objeto de discusión y debate a lo largo de su historia. En un principio, al llegar a Europa, los botánicos de la época le asignaron el género *Solanum*, siendo más tarde, en 1561, cuando Anguillara le asignara *lycopersicon* (“*wolf peach*” o melocotón lobo) por primera vez. Con ello, en 1753, Carl Linnaeus publicó “*Species Plantarum*”, donde dio a la especie la denominación “*Solanum lycopersicum*”, clasificándola en el género “*Solanum*”. Pero tan solo un año después, en 1754, Philip Miller publicó “*The Gardeners Dictionary*”, en el cual, basándose en una clasificación taxonómica de las plantas pluriloculares realizada por Tournefort en 1694, la llamó “*Lycopersicum esculentum*”, designación que se mantendría por los siguientes dos siglos y que incluso supuso la creación del nuevo género “*Lycopersicum*”, como iniciativa de los botánicos británicos P.H. Davis y J.G. Hawkes (1957). Así, ambos apelativos perdurarían en el tiempo, surgiendo muy diversas opiniones en cuanto a su uso, hasta que, en 1993, se acabó la polémica, descubriéndose mediante análisis genéticos el parentesco cercano entre el tomate y la patata, y, por tanto, que el taxón correcto es *Solanum lycopersicum* L. (Spooner et al., 1993).

### 2.2.2. Descripción botánica y fisionómica de la planta de tomate

El sistema radicular de la tomatera es de tipo pivotante, axonomorfo o fusiforme, es decir, caracterizado por desarrollar una raíz principal que llega a introducirse en la tierra hasta más de un metro, generando raíces secundarias laterales durante el proceso. Sin embargo, esto solo será así cuando se practique la siembra directa, y no bajo las condiciones más habituales en las que se establece el cultivo, por trasplante. En estas circunstancias, debido a los daños producidos en vivero y campo, se desarrollan sistemas muy ramificados en donde dominan raíces adventicias generadas en el hipocótilo, concentradas el 85 % en los primeros 30 cm de perfil (Baudoin, 2017).

Paralelamente al crecimiento de las raíces se desarrollará el sistema caulinar, con un tallo principal, que puede alcanzar los 50 cm, y varios secundarios, angulosos, semileñosos, de grosor medio y con gran cantidad de tricomas. Estos son estructuras celulares diferenciadas que cubren la superficie vegetal, difiriendo en su morfología y funcionalidad. En la actualidad, se distinguen ocho tipos: la mitad glandulares, capaces de almacenar sustancias y compuestos aleloquímicos, y el resto simples, variando solo en sus longitudes. Sin entrar en particularidades, el cometido más importante de estas pilosidades será la defensa contra los insectos (Gil, 2015).

A medida que el meristemo apical del tallo crece, se produce el estiramiento, pudiéndose encontrar según cómo sea, dos cultivares, uno de crecimiento indeterminado o ilimitado, dónde una yema vegetativa en el ápice de la rama mantiene la dominancia, extendiéndose sin cesar, y otro de crecimiento determinado o compacto, dónde eventualmente una inflorescencia terminal termina la elongación. En variedades industriales, la última es la forma frecuente (Nuez, 1995).

De igual forma que la planta crece por división del meristemo apical, origina primordios foliares y florales que producirán hojas y flores respectivamente. En cuanto a las primeras, van a aparecer antes, y serán imparipinadas de entre 7 y 9 foliolos lobulados. No obstante, al ser su morfogénesis particularmente larga expondrán diversas formas y tamaños (Shwartz et al., 2016).

Por su parte, las primeras flores e inflorescencias aparecerán más tarde, entre la sexta y novena hoja (Dieleman y Heuvelink, 1992), en función de la variedad y fenómenos ambientales, una vez que el ápice haya reunido cierta cantidad de asimilados (Sachs y Hackett, 1969). En su condición inicial, los meristemas reproductivos van a atravesar una fase vegetativa, formándose primordios foliares, que darán lugar a las brácteas, y luego florales, que empezarán siendo dos y acabarán siendo tantos como vaya a tener la inflorescencia (Contreras-Magaña et al., 2013).

El perianto de la flor es la primera de sus partes en formarse y estará compuesto de cinco sépalos y cinco pétalos soldados. El cáliz aparece antes, surgiendo en la periferia del primordio floral las pequeñas hojas verdes y alargadas de forma alterna, en el sentido de las manecillas del reloj. Estas pasarán de tener aspecto achatado con multitud de tricomas a ser picudos sin apenas apéndices. La corola gamopétala se desarrolla creando un anillo interior casi simultáneamente, que al principio será verde clara y evolucionará a un amarillo intenso según se acerca la antesis.

De manera posterior al perianto, empieza a manifestarse el androceo, a modo de lóbulos verticilados en la base de los pétalos, delante de dónde surgieron los sépalos. Según avanzan en su crecimiento, empiezan a dividirse hasta que constituyen las anteras, de apariencia glabra, que

se elongan por encima del pistilo. En esa posición, los estambres, con filamentos cortos y casi imperceptibles, se entretejen ayudados de tricomas desde el centro de las anteras hasta la base formando el cono estaminal, que envuelve el gineceo en una cámara y deja encerrado el estigma.

El grano de polen, de exina escabrada y escasamente gemada, presenta una forma elíptica en vista ecuatorial y angular en vista polar (Al - Quran, 2004). Es tricolpado, de colpos largos y puntiagudos, con superficie verrugosa. Sus dimensiones de en torno a 2,5µm de largo y 7,5µm de ancho, resultan menores a las de sus parientes de la familia *Solanaceae* (Ashfaq et al., 2020).

En último lugar, cuando el resto de estructuras florales ya hayan hecho acto de presencia, comenzará a originarse el gineceo, que tendrá color verde amarillento y será sincárpico, es decir, estará compuesto por seis carpelos soldados, con un solo estigma aplanado y un estilo alargado.

Así, la flor inicia su desarrollo tras la formación del primer sépalo y lo finaliza al llegar la antesis, cuando se abre y deja caer el polen desde los estambres a su estigma. Y es que, en su origen, la tomatara era alógama, exhibiendo sus flores un estilo más largo que el cono estaminal, favoreciéndose la fecundación cruzada por insectos o viento (Gualazzi, 1997). Sin embargo, en las variedades actuales, de estilo corto, la autofecundación será obligada en cada inflorescencia.

Las inflorescencias comienzan su formación al cambiar los meristemos su condición de vegetativa a reproductiva, y la culminan cuando termina la diferenciación de su última flor. Son cimas racimosas y, por tanto, tendrán un comportamiento basípeta, en dónde la flor distal inicia antes su desarrollo, seguida del resto (Sawhney y Greyson, 1972). Una vez todos los primordios hayan aparecido, surgirán el raquis y los pedicelos, continuando escalonadamente la floración y entrando en antesis los primeros órganos reproductivos tras los 50-55 días. No obstante, esta maduración será más temprana en las partes basales, pese a que las distales empezaron antes su actividad. Esto es debido a que, a medida que el raquis y los pedicelos se alargan, se invierte el crecimiento, que continúa de forma acrópeta. Esto ocurre porque las flores basales pasan a estar más cerca de la fuente y paso de los fotoasimilados, mientras que las distales acaban siendo las últimas, tardando más en alcanzar su estado final y ser fecundadas (Contreras-Magaña, 2013).

Al momento en que una flor es fecundada, su condición cambia a fruto, y debe atravesar tres fases: una de división celular, que depende del número de óvulos fecundados y semillas en desarrollo (Varga y Bruinsma, 1986); otra de expansión, aumentando el volumen de las células hasta 10 veces en el mesocarpio y placenta, y la maduración, cuando se producen los cambios químicos y estructurales que determinarán el aroma, color, textura y composición final del fruto.

Los frutos de la planta, los tomates, son bayas bi o pluriloculares, es decir, con dos o más compartimentos internos, en los que se encontrarán las semillas insertadas en el tejido placental y protegidas por el endo-, meso- y epicarpio. Tienen un peso variable que oscila entre los 60 y los 70g (Macua et al., 2003), aunque dependerá de la variedad. Además, aquellos destinados a la industria van a carecer de punto de abscisión en articulación que los une al pedúnculo (grupo de células que le permiten separarse de él mediante procesos hormonales), gracias a la acción del gen *jointless*, que les permite ser recolectados de la planta y sin pedicelo (Mao et al., 2000).

Pese a que el calibre y el peso son importantes, industrialmente se busca en los frutos el cumplimiento adicional de ciertos requisitos de calidad. Por un lado, el pH, que suele encontrarse entre 4,2 y 4,4, y el contenido en sólidos solubles, que debe estar entre 4,5 y 5,5° Brix (Campillo et al., 2015). Por otro lado, el nivel de licopeno, de actividad antioxidante y anticancerígena, cada vez con mayor relevancia, y que depende de factores genéticos y externos (Gragera et al., 2009).

Las semillas de la planta de tomate son pequeñas, pudiendo adoptar formas achatadas, ovaladas, ligeramente elongadas, planas, arriñonadas o triangulares con base puntiaguda. Están constituidas por un embrión, el endospermo y una testa recubierta de pelos. En el lóculo, al final de su desarrollo, se van a encontrar inmersas en una sustancia gelatinosa (Jaramillo et al., 2007).

### **2.2.3. Fenología y fases en el cultivo de la planta de tomate**

La fenología, estudio del ciclo de vida de las plantas y animales, ha sido históricamente un buen indicador de los cambios en el clima y el tiempo, especialmente, a través de su estrecha relación con la agricultura (Schwartz, 2003). Es esta también la principal razón por la que resulta de vital importancia su comprensión a través del presente trabajo, con una terminología común que permita una descripción normalizada de los estadios fenológicos. En plantas, el sistema de codificación BBCH constituye una buena base para satisfacer esta demanda (Meier et al, 2009).

La escala BBCH (de origen alemán, en la “*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie*”) es un sistema de codificación uniforme para los estados fenológicos de mono- y dicotiledóneas, en donde las fases de desarrollo similares recibirán el mismo código, acompañado de una descripción. La numeración se compondrá de dos dígitos, siendo el primero el estadio de desarrollo principal en el que se va a encontrar la planta, desde la germinación (0) a la senescencia (9), y el segundo el estadio secundario, que definirá puntos más concretos del ciclo de vida. En el caso de especies como el tomate, se podrá añadir un dígito entre los dos anteriores, que diferenciará el progreso del tallo principal y los secundarios (Feller et al., 1995).

No obstante, aunque a lo largo del trabajo se definirá el estadio fenológico de cada planta por este sistema, se recurrirá a otro más simple para denominar las etapas del ciclo de vida que atraviesa el cultivo, pues la escala BBCH suele ser demasiado exacta como para representar con un mismo código a toda la plantación. Así, ante esta necesidad, existen en la bibliografía gran multitud de otras divisiones fenológicas de donde elegir. De entre ellas, por ser específica para tomate de industria y desarrollarse en Extremadura, se ha optado por la clasificación en 4 fases del Centro de Investigaciones Tecnológicas de Extremadura (Campillo et al., 2015) [Figura 4]:

- Fase I. Fase de postrasplante. Abarca el intervalo variable de tiempo desde que las plantas son colocadas en el suelo tras llegar del vivero, hasta que logran cubrir el 5 % del suelo.
- Fase II. Fase de crecimiento rápido. Destaca por el acelerado desarrollo de la vegetación, que pasa de cubrir el 5 al 80 % del suelo y, la raíz, que llegará a su máxima profundidad.
- Fase III. Fase de crecimiento de frutos. Comienza tras el cuajado pero, al producirse este de forma escalonada pudiendo albergar la misma planta frutos en diferentes estados de desarrollo, se considera que la estabilización del crecimiento vegetativo es lo que marca verdaderamente su inicio. Durante este periodo crecerán los frutos, al principio de forma más acelerada y luego más lentamente, acumulando entonces azúcares y antioxidantes.
- Fase IV. Fase de maduración. Señalada por ser en la que los frutos cambian su color de verde a rosado y rojo intenso, ganando sabor durante el proceso (Haifa Chemicals, 2014).

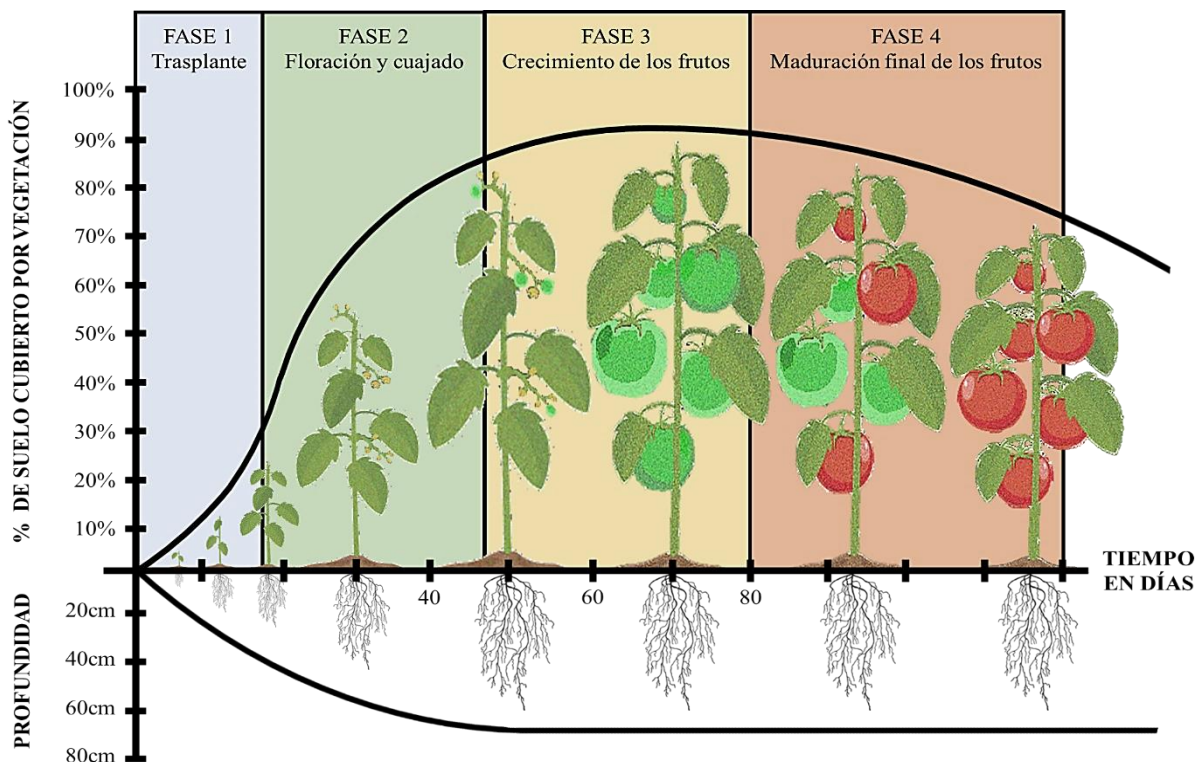


Figura 4. Representación de las fases que atraviesa el cultivo de tomate (Campillo et al., 2015).

#### **2.2.4. Necesidades edafoclimáticas y agronómicas de la planta de tomate**

La tomatera es una planta rústica, poco exigente en cuanto a necesidades del suelo, siendo el buen drenaje su característica más deseada, pues es una especie sensible a la asfixia radicular que provoca una disminución rápida y transitoria del potencial hídrico foliar (cierre estomático) causando incluso muerte celular si se mantiene en el tiempo (Dell' Amico et al., 2002). Menos importantes serán la salinidad, que puede superar los 3dS/m, y el pH, que encontrará su óptimo entre 6 y 6,5, pero que no suele ser restrictivo para el desarrollo del cultivo, que soporta desde ambientes ligeramente ácidos hasta medianamente alcalinos, de un pH 8 (Guzmán et al., 2017).

En cuanto a temperatura, la situación se vuelve algo más compleja, pues, aunque es una planta medianamente exigente (Maroto Borrego, 2018), es sensible a la termoperiodicidad, lo que quiere decir que su crecimiento óptimo se produce cuando la temperatura a la que está sometida durante el periodo de oscuridad es inferior a la que está sometida durante el día o, en otras palabras, que su desarrollo va a ser mayor si se lo somete a ciertas fluctuaciones térmicas entre día y noche (Went, 1944). La razón por la que esto sucede ha sido ampliamente estudiada, proponiendo varios autores posibles causas. Heller (1982) sostuvo que la disminución nocturna de la temperatura solo es positiva para la planta si es la parte aérea la que se enfría, ralentizándose su crecimiento apical pero no radical, de forma que se logre una evolución armónica de ambas y un equilibrio hormonal entre auxinas de las hojas y citoquininas de las raíces (Fiasson, 1982).

El régimen térmico ideal para el cultivo del tomate varía en torno a 18-25°C, alcanzando este su mayor desarrollo entre 21-24 °C, con alguna diferencia según su estado fenológico (en la floración se sitúa en 23-26 °C por el día y 13-16 °C por la noche). De cualquier manera, las temperaturas por debajo de 12 °C detienen el crecimiento, y por encima de 35 °C interrumpen la floración y fructificación (Guzmán et al., 2017). Igualmente, no se consideran independientes las temperaturas del resto de condiciones que afectan a la plantación, estando muy relacionadas con la humedad relativa, a la que las tomateras en concreto son sensibles, debiendo permanecer en un óptimo del 65 - 75 % (Baudoin, 2017). Altas temperaturas aunadas con una alta humedad favorecen la proliferación de enfermedades, con bajo cierre estomático y cese del crecimiento.

Por último, cabe destacar el papel que la luminosidad y la intensidad de radiación tienen sobre el cultivo, requiriendo al menos 6 horas diarias de luz directa para florecer, pudiendo influir negativamente en la fecundación un número menor (Guzmán et al., 2017), así como en las características físico - químicas del fruto (Ávila y Ruales, 2016). En el extremo opuesto, un exceso de radiación puede provocar también coloración irregular, partiduras... (Verkerk, 1955).

### 2.3. Efectos fisiológicos del calor sobre la planta de tomate

El rendimiento de todos los cultivos guarda una estrecha relación con las condiciones climáticas. Particularmente, el crecimiento y desarrollo del tomate dependerá de la temperatura, humedad relativa, radiación y velocidad del viento (Lewis, 1953; Tilahum et al., 2017). Entre todas ellas, destacan especialmente los impactos de la primera (Alsamir et al., 2021) [Figura 5].

Los aumentos de temperatura por encima del óptimo de desarrollo van a tener un amplio rango de efectos en la fisiología y productividad de las plantas, desde que ocurren o se imponen, hasta tiempo después de que acaben, en un grado que dependerá de la intensidad y duración del episodio de estrés [Figura 9]. De igual forma, el daño no es el mismo en todas las fases del ciclo de cultivo, habiendo mayores riesgos durante la germinación y reproducción (principalmente en los momentos de gametogénesis y floración). Ni en todas las especies, sufriendo más las anuales que las perennes, que permiten compensar un mal año con los siguientes (Jagadish et al., 2020).

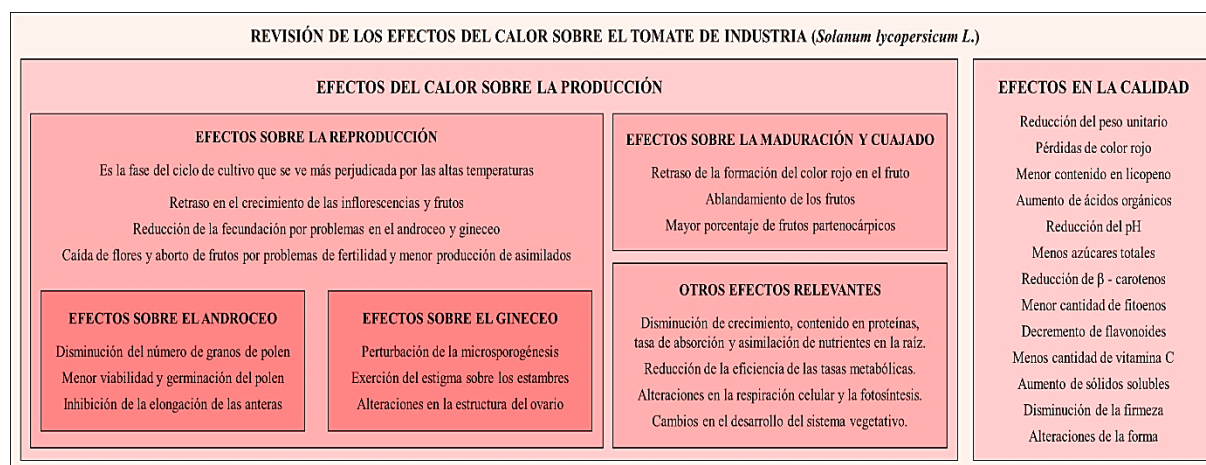


Figura 5. Enumeración esquemática de los efectos del calor sobre el tomate de industria.

El cultivo de tomate, en la germinación, no presenta riesgo de sufrir estrés térmico, pues suele trasplantarse, teniendo lugar esta fase en vivero. No obstante, esto no implica que se deban descuidar los efectos que van a producir los aumentos de temperatura en el suelo durante el resto del ciclo, especialmente sobre las raíces. En 2017, Guiri et al. descubrieron la disminución en el crecimiento, el contenido en proteínas, la tasa de absorción y la tasa de asimilación de nutrientes que experimentaban las raíces de tomate hidropónico sometidas a condiciones de estrés térmico mantenido en el tiempo (día/noche, 35/30 °C ó 42/37 °C, 6 días), concluyendo que quedaban sin comprobar sus efectos sobre la producción. Y es que, el sistema radicular no puede considerarse aislado del resto de la planta, pudiendo el calor, en algún caso, llegar a desequilibrar la relación fuente (raíz) / sumidero (brote) y afectar a la fructificación y rendimiento (Alsamir et al., 2021).

Descartado el peligro sobre la germinación, resulta obvio que en las plantaciones de tomate la fase que supone mayor riesgo ante altas temperaturas solo puede ser la reproducción, que resulta fundamental para el rendimiento. A su vez, dentro de esta etapa, que abarca una gran parte del ciclo de cultivo, Sato et al. (2000) concluyeron que el periodo más sensible al aumento moderado de la temperatura ocurre entre 8 y 13 días antes de la antesis, siendo estas dos semanas críticas para el desarrollo, afectando el estrés al desarrollo del polen, el crecimiento del fruto, la respiración, la estructura de la pared celular y, en definitiva, la producción (Alsamir et al., 2021).

De entre todos estos problemas, varios estudios concluyen que el principal daño que sufren las plantas tras aumentar las temperaturas ocurrirá en los granos de polen y, en definitiva, el androceo (Alsamir et al., 2021). Y es que el estrés térmico no solo induce la caída de brotes, flores y frutos (Iwahori, 1965; Abdalla y Verkerk, 1968; Levy et al., 1978), sino que provoca deformaciones en las anteras por represión de la actividad del gen encargado de su crecimiento y desarrollo (Müller et al., 2016); reduce la fecundación, al dificultar la germinación del tubo polínico en el estilo (Iwahori, 1966), y perturba el proceso de la microsporogénesis. Al respecto de este último punto, se han reportado multitud de efectos negativos tanto en la viabilidad del polen producido (Xu et al., 2017; Miller et al., 2021) como en la cantidad (Paupière et al., 2017).

Los azúcares simples van a ser los principales sustratos metabólicos participantes en la germinación del polen (Stanley, 1971), siendo el almidón que acumula durante su formación el que le aporte esos carbohidratos en la maduración (Speranza et al., 1997), por lo que el grano de polen maduro no contendrá almidón (Buchmann, 1986). Con esta base, se ha concluido que las deficiencias en el metabolismo glucídico en las anteras conduce al desarrollo anormal del polen bajo un estrés térmico (Bhadula y Sawhney, 1989), que no almacena almidón y ve reducida su viabilidad, siendo un misterio por qué disminuye también su número (Pressman et al., 2002).

Después de la floración, la temperatura puede seguir causando daño en el fruto (Mitcham y McDonald, 1992), retardando el desarrollo del color rojo, el ablandamiento y la producción de etileno por encima de los 30°C (Inaba y Chachin, 1988). A su vez, el crecimiento de tomates partenocárpicos (sin semillas) es más frecuente tras una pobre fertilización y alto porcentaje de aborto floral debido al estrés térmico (Barringer et al., 1981; Peet et al., 1998; Sato et al., 2001).

Además, otros factores afectados por el calor son la captación de nutrientes (Guiri, 2013), asimilación de amonio (Hungria y Haschuck, 2014); contenido en clorofila (Camejo et al., 2006), eficiencia de las tasas metabólicas (Alsamir et al., 2017), respiración celular (Gary et al., 2003),



fotosíntesis (Vijayakumar y Beena, 2020) y crecimiento vegetativo (Park et al., 2023). En cuanto a este último, más que un efecto *per se* de las temperaturas medias sobre él, se han reportado mayores relaciones con las diferencias térmicas entre el día y la noche (Berghage et al., 1998), o DIF, llegándose a comunicar, no solo mayores crecimientos bajo altas temperaturas y un DIF positivo, sino también mayor formación de vasos del xilema observada en cortes transversales del tallo (Ohtaka et al., 2020). Por el contrario, cuando el DIF resulta negativo, junto con altas temperaturas, se inhibe el crecimiento del tallo, pero este mantiene su grosor (Heuvelink, 1988).

En conclusión, todas las consecuencias de las altas temperaturas definidas previamente, repercutirán de manera inevitable sobre la producción (Mitcham y McDonald, 1991; Adams et al., 2001; Gollam et al., 2012; Vijayakumar y Beena, 2020; Ro et al., 2021; Xue et al., 2023), que, en tomate, está demostrado que decrece según aumenta el estrés térmico (Alsamir et al., 2017).

No obstante, los efectos mencionados del calor no solo van a tener consecuencias sobre el rendimiento, sino que una exposición a altas temperaturas durante el crecimiento también va a alterar su calidad (Aronson y Menulty, 2009). Sobre esta premisa, se han notificado efectos del estrés térmico en el peso unitario (Papadopoulos y Hao, 2001; Adam et al., 2001); color (Fleisher et al., 2006); acidez (Weerakkody, 2003); pH (Vijayakumar y Beena, 2020); concentración de sólidos solubles (Gunawardhana y De Silva, 2011; Shivashankara et al., 2015; Vijayakumar et al., 2021); contenido en licopeno (Grierson y Kader, 1986; Farkas, 1994) y carotenoides (Ngcobo et al., 2020), y firmeza (Khanal, 2012), entre otros parámetros que señalan al calor como uno de los factores precosecha de más relevancia en la calidad (Dorais et al., 2008; Deribe et al., 2016).

#### **2.4. Problemática de las olas de calor. Previsiones del cambio climático**

Según la duración del estrés térmico y su intensidad, sus efectos sobre las plantas serán más o menos peligrosos, sirviendo ambos parámetros en la clasificación de los episodios de altas temperaturas en tres grupos: experiencias de cambio climático, olas de calor y shocks, en orden ascendente en intensidad y descendente en duración (Jagadish et al., 2021). De entre ellos, los últimos son los más comúnmente ensayados en agricultura (Geange et al., 2021), siendo los dos restantes más escasamente encontrados en bibliografía. Mientras que el estudio de los primeros está orientado en gran medida a comprender cómo afrontan las plantas el estrés térmico inducido por el cambio climático (Jagadish et al., 2021), la experimentación con olas de calor resulta más relevante, pues es probable que los fenómenos extremos tengan mayor impacto en los sistemas biológicos que las alteraciones en el clima medio (Easterling et al., 2000; Jentsch et al., 2007).

Las olas de calor se definen como periodos prolongados de alta temperatura y exceso de calor con impactos significantes en los ecosistemas naturales y humanos (Perkins, 2015). Estos eventos excepcionales han estado aumentando en los últimos años no solo en frecuencia, sino también en duración e intensidad (Lorenzo et al., 2021; Acero et al., 2017; Tank y Können, 2003).

Según el *Climate Change Synthesis Report*, desarrollado por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) para el año 2023, las actividades humanas, principalmente mediante emisión de gases de efecto invernadero, están causando un calentamiento global, alcanzando la superficie terrestre temperaturas de 1,1°C más de media en la década de 2011 a 2020 que en el quinquenio de 1850 a 1900. Además, resulta altamente probable que la presión antropogénica en el clima se traduzca en el futuro próximo en fenómenos extremos como olas de calor [Figura 6].

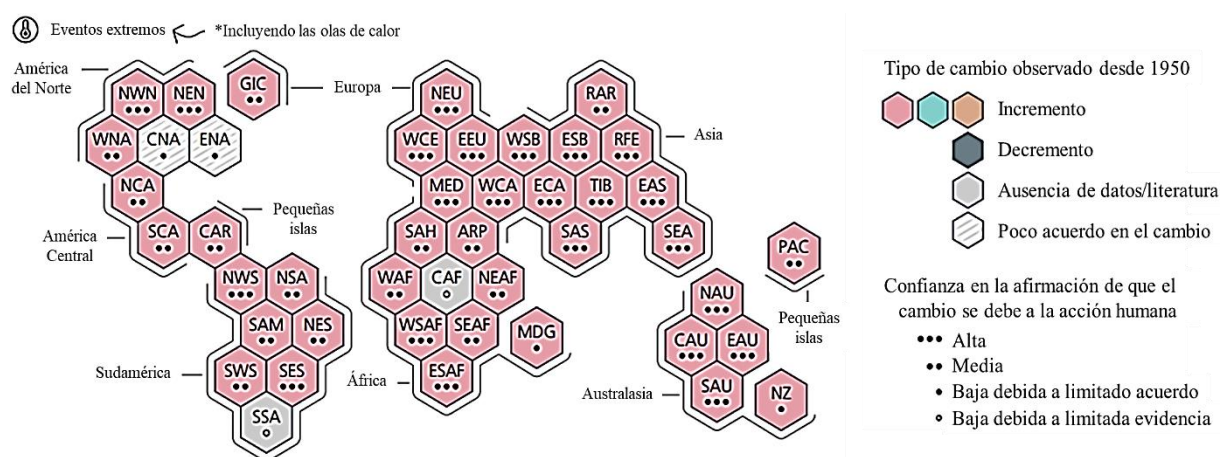


Figura 6. Traducción propia de la síntesis realizada por el IPCC (2023) de la evaluación del cambio observado en los eventos extremos cálidos y confianza en la contribución humana en ellos los cambios observados en el planeta. Cada hexágono representa una región del mundo, de forma que MED hace referencia al área mediterránea en la que se encuentra Extremadura.

Estos eventos climáticos críticos pueden llegar a tener impactos muy perjudiciales sobre el rendimiento de los cultivos (Lesk et al., 2016), afectando con ello también al suministro de alimentos y precios de los productos de primera necesidad (Heinicke et al., 2022). En las plantas de tomate y más especialmente en las variedades industriales, que son plantadas en su totalidad al aire libre (WPTC, 2023), los daños provocados por el calor son dispares y numerosos, como se ha visto anteriormente y reportan gran cantidad de autores (Iwahori, 1966; Peet et al., 1998; Firon et al., 2006). Se hace así necesario el desarrollo de estrategias que blinden su producción, ya sea por medio de la modificación genética (Bitá y Gerats, 2013; Saeed et al., 2023), o con la aplicación de nuevas técnicas de manejo, como las que ayudan a la conservación de la humedad del suelo (Hassan et al., 2021) o las que usan el riego para refrigerar (Rodríguez-Ortega et al., 2017; Thiery et al., 2017; Liu et al., 2021; Zhang et al., 2022; Xue et al., 2023; Pan et al., 2024).

### **3. OBJETIVOS**

## OBJETIVOS

Como ya se ha explicado anteriormente, el aumento de las olas de calor que se padecerán durante los próximos años como consecuencia del cambio climático pueden llegar a afectar muy negativamente un cultivo tan importante a nivel regional, nacional y mundial como es el tomate de industria. Así, el objetivo general de este Trabajo de Fin de Máster es el estudio de los efectos que produce el estrés térmico sobre el cultivo del tomate de industria en Extremadura, de forma realista, mediante la recreación de dos escenarios de ola de calor en las condiciones de campo.

Se plantearán además los siguientes objetivos específicos como una serie de actuaciones que se deben realizar para alcanzar la consecución del objetivo general anteriormente definido:

1º.- Establecer en campo elementos de manipulación climática mediante estructuras tipo mini - invernaderos que puedan recrear los efectos de una ola de calor sobre el cultivo de tomate.

2º.- Conocer y caracterizar cambios potenciales en el crecimiento y productividad de las plantas de tomate que se puedan generar en respuesta al incremento de temperatura provocado.

3º.- Considerar diferentes estrategias que puedan llegar a mitigar los efectos del aumento de temperatura sobre el cultivo: aplicación de un producto dinamizador, riego extra y aspersión.

4º.- Analizar la incidencia económica de las condiciones de ola de calor sobre el cultivo.

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

## MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo fue desarrollado en el Instituto de Investigaciones Agrarias Finca La Orden - Valdesequera, perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) de la Junta de Extremadura, requiriendo ensayo en campo, ejecutado en la parcela 96 del polígono catastral 3 del municipio de Lobón (Badajoz, España) [Figura 7].

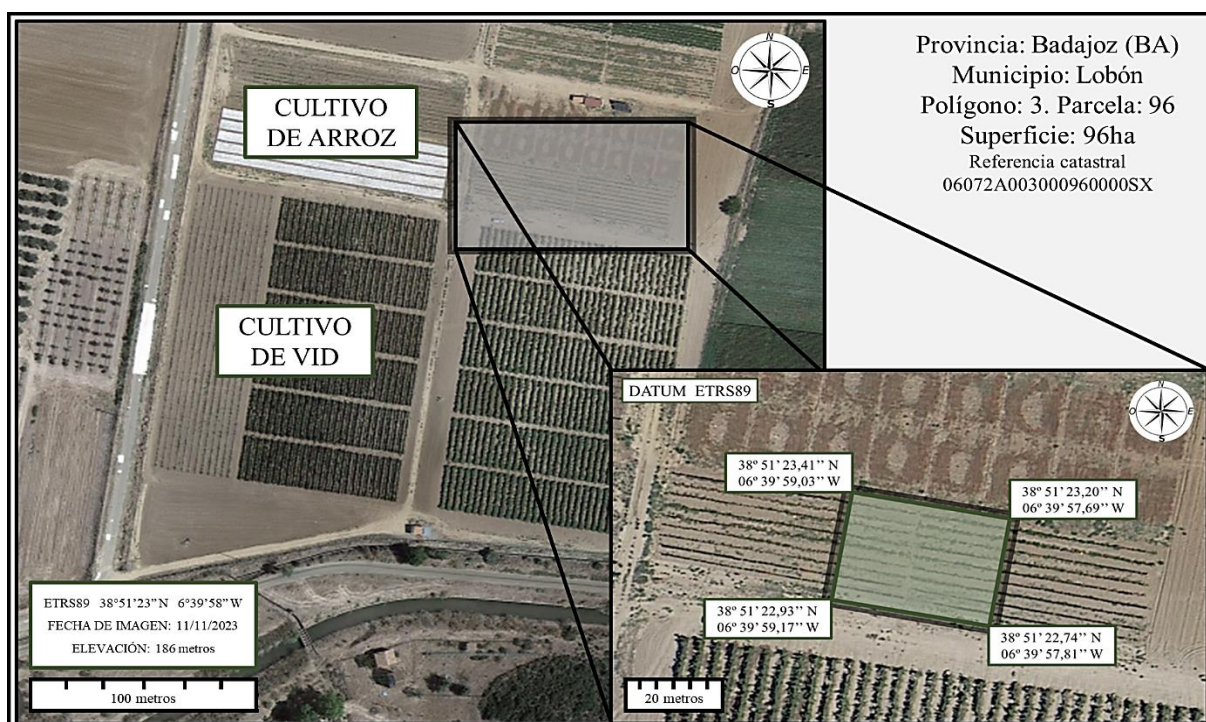


Figura 7. Localización del ensayo dentro de la parcela 96 del polígono 3 de la finca La Orden.

Dicha sección cuenta con una superficie de 525 m<sup>2</sup>, que se había mantenido en barbecho durante el año anterior a la realización del ensayo. A principios de enero de 2023 se le realizó una enmienda caliza con yeso agrícola; un pase de gradas con objeto de preparar el terreno para el trasplante, reduciendo la compactación, controlando las malas hierbas, reteniendo la humedad y mejorando la aireación, y un pase de chisel antes de conformar las camas. El suelo de la zona era entre franco arcillo-arenoso y franco arenoso según el triángulo de texturas (USDA, 1977), con un contenido en arena del 69 %, un 20 % de arcilla y 11 % de limo. El contenido de nitratos en terreno antes del ensayo fue de 64,11 kg N - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ha y el de amonio de 24,08 kg N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ha.

Para el ensayo se usaron plántulas de tomate de industria de la variedad H1015 (Heinz), procedentes del vivero “Semilleros Morán” (T.M. Puebla de la Calzada), donde permanecieron entre 30 y 40 días antes de trasplantarse en la parcela, el 11/05/2023, momento en que ya habían desplegado la segunda hoja de su tallo principal (estadio fenológico principal 1, BBCH 12 102).

En el campo se distribuyeron en 13 filas separadas 1,5 m, a 0,24 m de distancia entre sí, obteniéndose con ello 100 plantas de tomate/línea, una densidad de 27.777 plantas/ha. Durante el ciclo de vida del cultivo, el manejo en toda la superficie fue igual, tanto en dosis de fertirriego como en tratamientos [Tabla 1], a excepción del tiempo en que se la sometió a las olas de calor.

<b>Riego base:</b>	5.438 m <sup>3</sup> /ha	<b>Abonado:</b>	<b>N</b> 196 UF	<b>P</b> 86 UF	<b>K</b> 270 UF
<b>Calendario de aplicación de tratamientos en la parcela</b>					
24/05/2023	Fungicida - insecticida foliar con Metalaxil, Fosetyl - al y Acetamiprid				
05/06/2023	Herbicida contra gramíneas y dicotiledóneas con Flazasulfuron				
05/06/2023	Fungicida con <i>Bacillus subtilis</i> ( <i>Serenade Soil</i> ) y <i>Bayfolan Aktivator</i>				
15/06/2023	Biofertilizante con <i>B. subtilis</i> ( <i>Sullicab</i> ) y abono foliar líquido <i>Bayfolan</i>				
28/06/2023	Insecticida con Abamectina, Cyflumetofen, Clorantraniliprol y λ - Cihalotrin				
14/07/2023	Insecticida - acaricida con Spirotetrat y Cyflumetofen				

Tabla 1. Dosis de riego, fertilización y tratamientos aplicados a todas las plantas de la parcela.

Así, con la llegada de la floración (estadio fenológico principal 6 de la escala BBCH), se decidió empezar a aplicar las condiciones de ola de calor, dividiéndose antes la parcela en cuatro secciones de tres filas de plantas, para poder efectuar un manejo diferente en cada una de ellas:

- Sección 0. Tratamiento “Control” (CTR\_G). No sometida a ninguna forma particular de explotación que le permitiera resistir mejor la ola de calor, sin aplicación de un producto especial e igual riego al proporcionado hasta la fecha. Sirvió para comparar con el resto.
- Sección A. Tratamiento “A” (A\_G). Se aplicó el dinamizador de suelos y optimizador de agua de riego *Dynamizer*<sup>®</sup>, producto comercial que incrementa el movimiento lateral de agua y nutrientes. Según su ficha técnica, es un líquido surfactante no iónico que rompe la tensión superficial del agua e incrementa la expansión radicular (más absorción), lo que resulta en aumentos de producción y calidad en cosecha. Se suministró dos veces en el ciclo de cultivo, el 05/06/2023 y 19/06/2023, en cantidades de 10 L/ha junto al riego.
- Sección B. Tratamiento “B” (B\_G). En ella se suministró una dosis extra de riego solo durante las tres semanas que duraron los episodios de calor. Esto se realizaría colocando una segunda cinta de riego que duplicó el riego del control para ese periodo en concreto.
- Sección C. Tratamiento “C” (C\_G). En ella se irrigaron las plantas durante los episodios de ola de calor con una aspersion de 4 L durante una hora diaria. Este no buscó aumentar significativamente el volumen de agua suministrado, sino lograr un efecto refrigerante.

A su vez, en tres grupos de plantas de la fila interior de cada sección se aplicaron distintas condiciones de ola de calor, mediante la instalación o no de estructuras tipo mini - invernadero:

- Grupo “Control” (T\_CTR). En él no se instaló ningún tipo de estructura, resultando un conjunto total de diez plantas sujetas únicamente al tratamiento particular de la sección.
- Grupo “Cabina” (T\_HW1). En él se instaló una estructura de tipo cabina de dimensiones de 2 m de alto, 1,2 m de ancho y 1,5 m de largo, recubierta de plástico de invernadero, capaz de mantener a diez plantas del tratamiento en condiciones de mayor temperatura.
- Grupo “Túnel” (T\_HW2). En él se instaló una estructura de tipo túnel, más baja que la anterior, de 0,75 m de alto, formada por arcos de metal en U que se cubrieron de plástico de invernadero, con objeto de lograr otras condiciones de temperatura en cinco plantas.

Las cabinas fueron instaladas en campo el 21/06/2023, mientras que los túneles el día siguiente. Con ello, cada tratamiento se sometió a tres ambientes muy diferentes, resultando, en total, las doce combinaciones de manejo y temperatura, indicadas en el esquema [Figuras 8 y 9]:

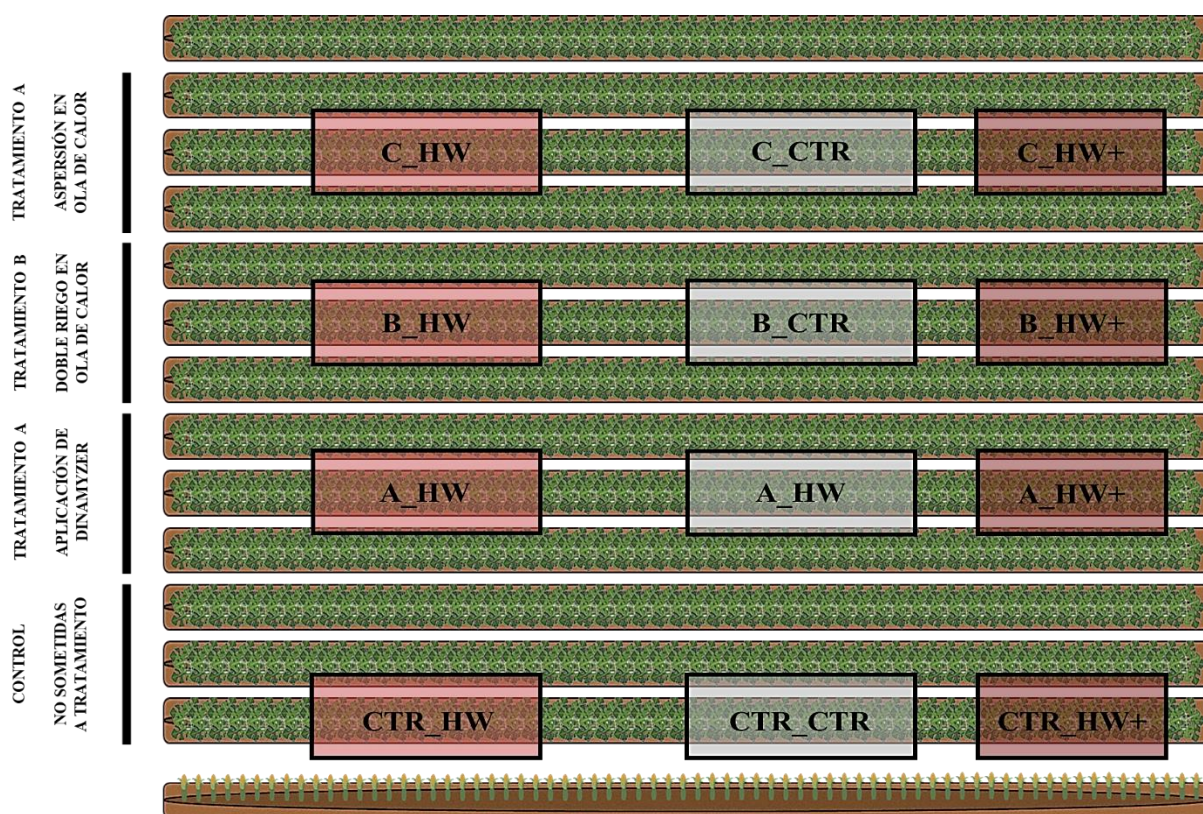


Figura 8. Esquema con la distribución en planta de los tratamientos sobre la parcela del ensayo.

Los túneles se mantuvieron dos semanas, retirándose el 05/07/2023, y las cabinas tres, desmontándose el 12/07/2023. La recolección se realizó el 18/08/2023 en todos los tratamientos salvo en el B, en el que se realizó antes, el 14/08/2023, debido a problemas de encharcamiento.



Durante el tiempo que permanecieron las estructuras, fue de vital importancia la medida de la temperatura tanto en su interior como en el exterior, lo que se hizo mediante la colocación sensores TERSO10 en las plantas de cada grupo de la sección 0, que recogerían datos térmicos y de humedad cada media hora. Esta información se volcó en un ordenador y analizada con el fin de calcular las medias diurnas (de 08:30 a 20:30) y nocturnas (de 20:30 a 08:30) en cada ambiente [Tabla 2]. La temperatura media de la parte del ciclo antes del tratamiento fue 21 °C y 26 °C después de él. La humedad relativa se mantendría constante en  $67 \pm 5 \%$  todo el ensayo.

Periodos (cada 5 días)	Control (CTR)			Cabina (HW1)			Túnel (HW2)		
	D	N	M	D	N	M	D	N	M
21/06/23 - 25/06/23	30,74	19,81	25,28	32,56	20,40	26,48	33,16	26,49	29,83
26/06/23 - 30/06/23	29,94	22,39	26,16	32,44	21,97	27,21	30,64	27,22	28,93
01/07/23 - 05/07/23	29,04	21,16	25,10	31,78	21,11	26,45	29,76	25,52	27,64
06/07/23 - 10/07/23	25,85	21,36	23,60	28,89	20,34	24,61	-	-	-
11/07/23 - 15/07/23	26,85	22,82	24,83	30,98	22,07	26,52	-	-	-
<b>MEDIA</b>	<b>28,48</b>	<b>21,51</b>	<b>25,00</b>	<b>31,33</b>	<b>21,18</b>	<b>26,25</b>	<b>31,19</b>	<b>26,41</b>	<b>28,80</b>

Tabla 2. Temperaturas medias diurnas y nocturnas (°C) en los tres ambientes durante el ensayo. D: media de las temperaturas diarias, N: media de temperaturas nocturnas y M: media de ambas.



Figura 9. Visión general de los diferentes ambientes simulados en la parcela (A), y detalles de la colocación de las estructuras en cabina [grupo HW1] (B) y túnel [grupo HW2] (C).

#### 4.1. Análisis del efecto de las olas de calor sobre el desarrollo reproductivo

El estudio del efecto de las olas de calor sobre el desarrollo reproductivo se realizó tanto en la parcela como en el laboratorio, y se dividió en dos partes. En la primera, mediante la toma de datos *in situ* durante el periodo en el que se aumentó la temperatura, se buscó monitorear un conjunto de inflorescencias de cada tratamiento y ambiente, con el fin de cuantificar su progreso y crecimiento. En la segunda, mediante diferentes técnicas de manipulación y tinción, se realizó un análisis del androceo y gineceo de una muestra aleatoria de flores. Por un lado del polen, para analizar los daños del estrés y, por otro, del ovario, para buscar los daños provocados por el calor.

Así, inicialmente se marcaron los brotes sobre los que se realizó el seguimiento unos días antes de instalarse los mini - invernaderos (el 14/06/2023, el 16/06/2023 y el 22/06/2023), y se llevó a cabo una primera medición. Las dos siguientes se realizaron semanalmente (el 28/06/23 y el 05/07/23) y la última, el día que se retiraron las cabinas (12/07/23) y los túneles (14/07/23).

Las mediciones consistieron en la determinación de la longitud de cada inflorescencia; de su número de flores cerradas y abiertas; de los brotes cuajados (desde la caída de los pétalos al primer centímetro de largo); frutos pequeños y grandes (según su dimensión longitudinal, si no llega o supera los 5 cm, respectivamente), y órganos fallidos por muerte o aborto [Figura 10].

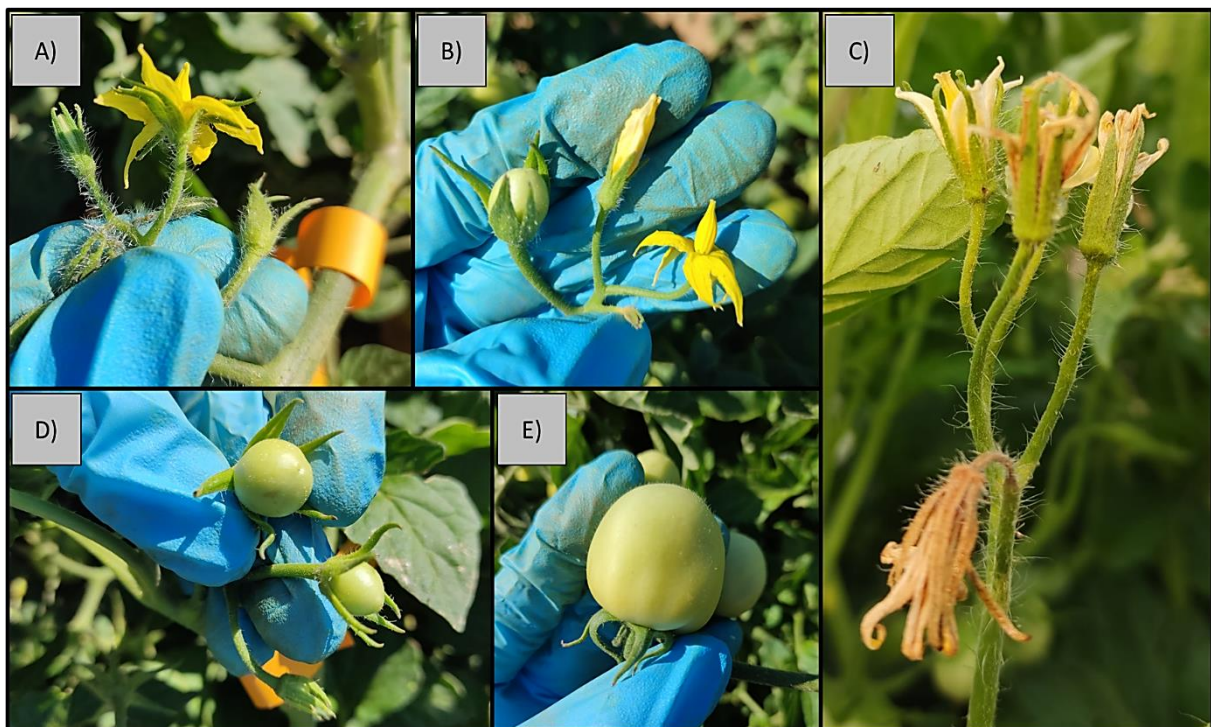


Figura 10. Detalles de un ramo floral con una flor abierta y dos cerradas (A); un ramo floral con un fruto pequeño, una flor cerrada, una abierta y una caída (B), una inflorescencia con tres flores abiertas y una muerta por calor (C); dos frutos pequeños (D), y uno grande (E).

Para el estudio del polen se marcaron de forma independiente 5 ramos de cada ambiente y tratamiento, el día 16/06/2023, cinco días antes de colocar las cabinas y túneles, buscando las inflorescencias menos desarrolladas. En el mismo momento del marcaje, se colocaron también bolsas encima de los brotes que abarcasen todas sus flores, sellándose posteriormente con ayuda de unas bridas. Su objetivo fue no dejar escapar los granos generados para que luego pudiesen aislarse. Los ramos permanecieron bajo estas condiciones hasta retirarse los mini - invernaderos.

Al retirarse los túneles el día 05/07/2023, las inflorescencias de las plantas embolsadas se encontraban secas y fue imposible aislar el polen. No obstante, el 12/07/2023, al levantar las cabinas, las inflorescencias bajo ellas sí estaban en buen estado para aislar el polen, así como las embolsadas en el ambiente control. Pasaron pues 26 días desde el encapuchado. De acuerdo con Sato et al. (2002), el periodo crítico para el desarrollo de polen funcional en plantas bajo estrés térmico es de 10 días antes de la antesis, por lo que, al colocarse las bolsas cuando las inflorescencias estaban en las primeras etapas de formación, hasta el momento de la recolección ya deberían haber estado expuestas a estrés térmico y ser adecuadas para la prueba de viabilidad.

Una vez recogidas las bolsas se abrieron con cuidado en el laboratorio, dejándose caer todo su contenido en unas bandejas de papel, junto con las flores cortadas de cada brote. Tras un periodo de secado de una semana para favorecer la apertura de los estambres y acumulación de más polen, se hizo pasar su contenido por mallas de orificios de  $0,3 \mu\text{m}$  de diámetro, con fin de cribar cualquier sustancia contaminante (tierra, suciedad...) y extraer solo el polen [Figura 11].



Figura 11. Ramillete floral encapuchado en campo (A) y contenido final de las bolsas (B).

Con el polen separado en recipientes de vidrio, se procedió a realizar para su estudio el test de viabilidad de Alexander (Alexander, 1980), que precisa colocar el polen en portaobjetos, por lo que así se hizo, dividiéndose cada uno en dos repeticiones y dejando caer algunos granos sobre ellos con un pincel. En total se realizaron 4 repeticiones (2 portaobjetos) por tratamiento.

El test de viabilidad de Alexander (Alexander, 1980) consistió en la tinción de las células de polen con su solución homónima, gracias a la cual se pudo llegar a observar al microscopio tonalidades de color distintas entre viables y no viables. Las primeras se volvieron de colores morados, debido a que su protoplasto reaccionó con la fucsina ácida que contenía el colorante, adquiriendo esos matices. Los segundos, por el contrario, adquirieron un tono glauco, al carecer de protoplasto que pudiera reaccionar a él y adquiriendo igual color que la solución [Figura 12].

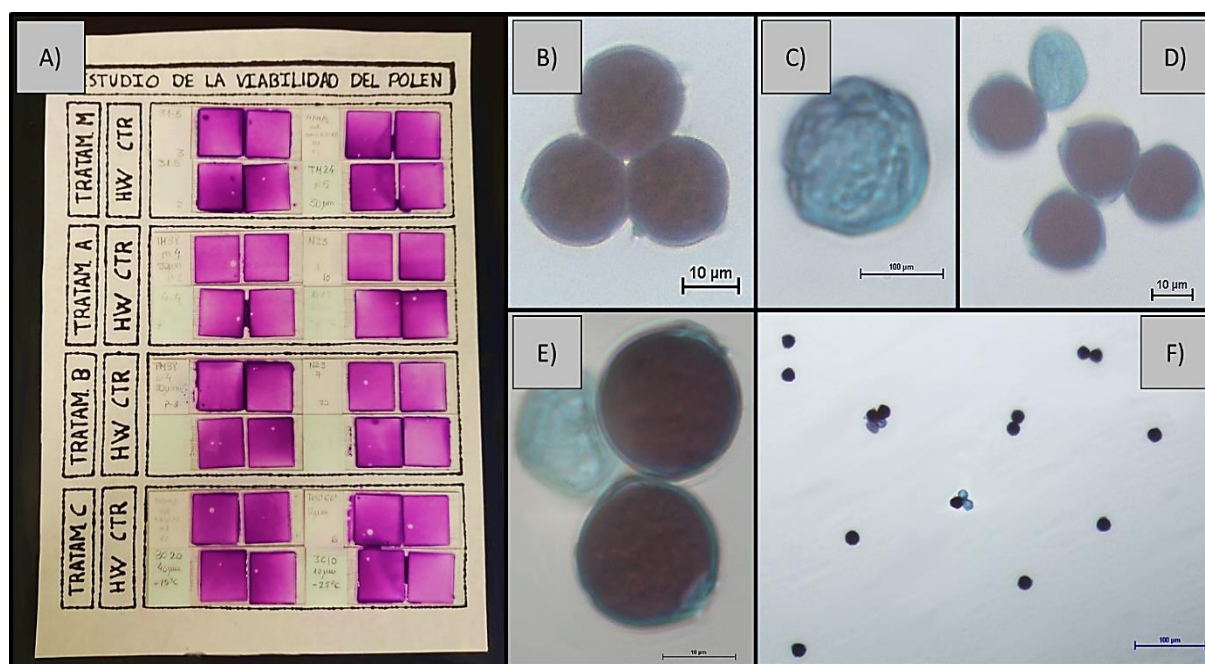


Figura 12. Tinción de Alexander para estudiar la viabilidad del polen (A); detalles de tres granos viables (B), uno no viable (C) y grupos mixtos (D y E), y campo de conteo en microscopio (F).

Después de que los granos de polen estuvieran teñidos, para determinar el porcentaje de granos viables, se dividieron las repeticiones coloreadas (dos por portaobjeto) en cuatro campos, tomándose una foto al azar de cada uno al microscopio óptico. Sobre estas imágenes se procedió al cálculo de la viabilidad, a hallar las medias por tratamiento y a su comparación [Ecuación 1]:

$$\text{Porcentaje de viabilidad} = \frac{\sum \text{granos viables}}{\sum \text{granos totales}} \cdot 100 \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Por último, para el estudio de los ovarios de flores, se recogieron muestras del ambiente control y bajo cabina en el tratamiento CTR, completamente al azar y justo el día después de la retirada de las estructuras. Después, fueron llevadas al laboratorio y se fijaron en FAE (mezcla de formalina 37 %, ácido acético, etanol 95 % y agua destilada en la proporción 2:1:10:7) hasta su manipulación, cubriéndolos con la solución hasta tres veces su volumen y permaneciendo en refrigeración. Su fin fue mantener la arquitectura de los tejidos evitando la autólisis enzimática.

Al llegar el momento, eliminado el fijador mediante varios lavados con agua destilada, las muestras se incluyen por el método TBA/Parafina (Ruzin, 1999). Este proceso proporciona un medio homogéneo de soporte a los tejidos y la consistencia necesaria para realizar sobre ellos secciones de 8-12 micrómetros de grosor con facilidad y precisión. Este medio será la parafina, un compuesto de aspecto ceroso, formado por una mezcla de hidrocarburos con punto de fusión entre 56 - 58 °C y que no es miscible en agua ni en alcohol etílico. Como el principal componente de los tejidos vegetales es agua, el proceso de inclusión es progresivo, sumergiendo las muestras en sucesivas soluciones que la desplacen y permitan la infiltración de parafina sin causar daños.

En primer lugar, tras eliminar el fijador, se lleva a cabo la deshidratación de las muestras sumergiéndolas en concentraciones crecientes de etanol en agua (30 %, 50 %, 70 % y 96 %). En etanol al 70 %, las muestras pueden pasar un tiempo indefinido hasta que se retoma la inclusión.

Los siguientes pasos consistieron en sustituir gradualmente el etanol por un disolvente orgánico que resultara un buen medio de infiltración posterior para la parafina. En este caso fue el TBA (terbutanol; 2 - metil - 2 - propanol), por lo que se utilizaron soluciones de concentración creciente de TBA en etanol para ir desplazando a este lentamente. La siguiente fase consistió en el empleo de mezclas con TBA y aceite de parafina, aumentado progresivamente la cantidad de este último hasta embeber el tejido en parafina líquida pura, que se mantuvo a 60 °C. [Tabla 3].

Deshidratación. Los tejidos eliminan el agua que contienen en soluciones con etanol.		
Etanol al 30% .....	≈ 2 horas	Agitación a t. <sup>a</sup> ambiente
Etanol al 50% .....	≈ 2 horas	Agitación a t. <sup>a</sup> ambiente
Etanol al 70% .....	> 2 horas	Refrigeración (8°C)
Etanol al 96% .....	≈ 1 hora	Agitación a t. <sup>a</sup> ambiente
Desplazamiento del etanol con alcohol butílico terciario (TBA), soluble en parafina.		
TBA : Agua : Etanol (20:30:50) .....	> 6 horas	Refrigeración (8°C)
TBA : Agua : Etanol (35:15:50) .....	≈ 6 horas	Agitación a t. <sup>a</sup> ambiente
TBA : Etanol (55:45) .....	> 6 horas	Refrigeración (8°C)
TBA : Etanol (75:25) .....	≈ 3 horas	Agitación a t. <sup>a</sup> ambiente
TBA puro (100%) .....	≈ 2 horas	Agitación a t. <sup>a</sup> ambiente
Inclusión en parafina. Se usan soluciones de aceite de parafina para desplazar al TBA.		
TBA : Aceite de parafina (3:1) .....	> 12 horas	Cubierto en estufa (30°C)
TBA : Aceite de parafina (1:1) .....	≈ 6 horas	Cubierto en estufa (30°C)
TBA : Aceite de parafina (1:3) .....	> 24 horas	Cubierto en estufa (60°C)

Tabla 3. Protocolo de inclusión seguido. Es indispensable atravesar todas las soluciones para garantizar procesos lentos de infiltración, sin que sucedan fenómenos de contracción celular.

Posteriormente, se vertió parafina líquida sobre un molde y colocó la muestra embebida en parafina, dándole una orientación adecuada según se requirieran luego secciones transversales y/o longitudinales [Figura 13]. Para este proceso se utilizó un dispensador de parafina junto con una placa caliente (70 °C) y una fría (*Kunz Instruments*) donde solidificó y endureció la parafina para formar un bloque con el tejido (-20 °C), guardado en refrigeración (4 °C) hasta su seccionado.

La observación de tejidos al microscopio requiere muestras de un grosor muy reducido para que no haya problemas de difusión y penetración de la luz, por lo que es necesario obtener secciones de 8-12 micrómetros de espesor. En este caso, para ello se utilizó un microtomo de rotación (*Leica RM 2255*). Se trata de un equipo que permite obtener secciones seriadas con gran precisión [Figura 13]. Va a contar con un sistema de rotación o manivela que, al girarse, origina el movimiento de ascenso y descenso de un portamuestras, que desplaza el bloque con el tejido hacia delante una distancia seleccionada (grosor), atravesando una cuchilla fija que lo secciona.

Antes de colocar la muestra, hay que realizar un retallado del bloque con una cuchilla, con el objetivo de formar una pirámide truncada y eliminar la parafina sobrante [Figura 13]. De esta manera, las secciones podrán unirse unas a otras, formando largas ristras rectas y continuas.



Figura 13. Dispensador de parafina líquida (A), orientación de la muestra en el molde (B), microtomo de rotación (C) y detalle de colocación en portamuestras de bloque retallado (D).

Una vez colocado el bloque en el portamuestras, el aparato presenta sistemas de ajuste de posición y ángulo de inclinación de la cuchilla fija, que orientan el plano de corte para realizar correctamente la operación. Una vez calibrados, se pudieron lograr secciones de 12  $\mu\text{m}$  de grosor.

En las proximidades del microtomo había disponible una placa calefactora a temperatura entre 35 y 40 °C (*Plantronic, P - Selecta*) sobre la que se colocaron los portaobjetos (26x76 mm de *Deltalab*) rotulados. A cada portaobjeto se le añadió una película de agua y la ristra de cortes obtenida se dejó caer cuidadosamente con ayuda de una pinza, evitando formar arrugas. El calor

del agua ayudó a que los cortes estiraran. Para terminar, el agua se evaporó y los cortes quedaron adheridos a los portaobjetos [Figura 14], que fueron almacenados durante al menos una semana en estufa (*P - Selecta*) a 30 °C antes de continuar su procesado, asegurando completa adherencia.

Retiradas de la estufa, las secciones se tiñeron siguiendo un procesamiento general con azul de toluidina, colorante metacromático básico con afinidad por los componentes ácidos, muy utilizado en histología vegetal. Permitirá discriminar claramente los distintos tipos celulares en diferentes tonalidades que van desde el azul verdoso (zonas lignificadas, suberizadas y algunos taninos) al púrpura (zonas no lignificadas). En primer lugar, se llevó a cabo el desparafinado de los tejidos con solventes orgánicos, sumergiendo los cortes en un sustituto del xileno (*Sigma – Aldrich A5597 - 1GAL*) durante 10 minutos. Tras esto, las secciones se rehidrataron a su paso por una serie de soluciones de etanol de concentración decreciente [Figura 14], manteniéndose cinco minutos en cada una. Después, el tejido permaneció embebido en la tinción el tiempo adecuado para alcanzar la coloración deseada, lavándose los portaobjetos con agua destilada y volviéndose a deshidratar. Otro paso por el sustituto del xileno eliminó restos de etanol y facilitó la extensión del medio de montaje (*Eukitt, Sigma - Aldrich*) para hacer permanentes las muestras, del que se aplicaron unas gotas sobre las secciones y dejó caer el cubreobjetos con precaución de no formar excesivas burbujas. Por último, las preparaciones se dejaron secar al aire varios días [Figura 14].



Figura 14. Resultado de los portaobjetos con las secciones obtenidas (A), batería de tinción de los cortes realizados (B), detalle de la lupa binocular (C) y retrato del microscopio óptico (D).

Con las muestras montadas, las microfotografías de las secciones de tejido se obtuvieron con el objetivo 0.2X de una lupa binocular (*Nikon SMZ1000*), para observar la sección completa del tejido en una sola imagen. Las microfotografías a más aumentos de diferentes zonas fueron adquiridas al microscopio óptico (*Nikon Eclipse 50i*). En ambos casos se usó una cámara digital acoplada (*Nikon DS-F1*) y el programa de captura y análisis de imagen NIS - Elements (*Nikon*).

#### 4.2. Análisis del efecto de las olas de calor sobre el desarrollo vegetativo

La altura de la planta es función del número de nudos y de la distancia entre ellos, ambos parámetros fuertemente influenciados por la temperatura (Berghage, 1998; Xue et al., 2023). Así, los efectos sobre el crecimiento vegetativo derivados del aumento de temperatura provocado en las plantas de tomate se cuantificaron en laboratorio con la medida del número de entrenudos, su longitud media y extensión completa de la parte aérea de 9 individuos del grupo “control”, 9 del grupo “cabina” y 5 del grupo “túnel” de cada tratamiento, a excepción del B [Figura 15]. Como el corte y recogida se realizarían en el momento de la recolección, el estado de las muestras no fue idóneo en esa región del ensayo debido a su pudrición por los problemas de encharcamiento.

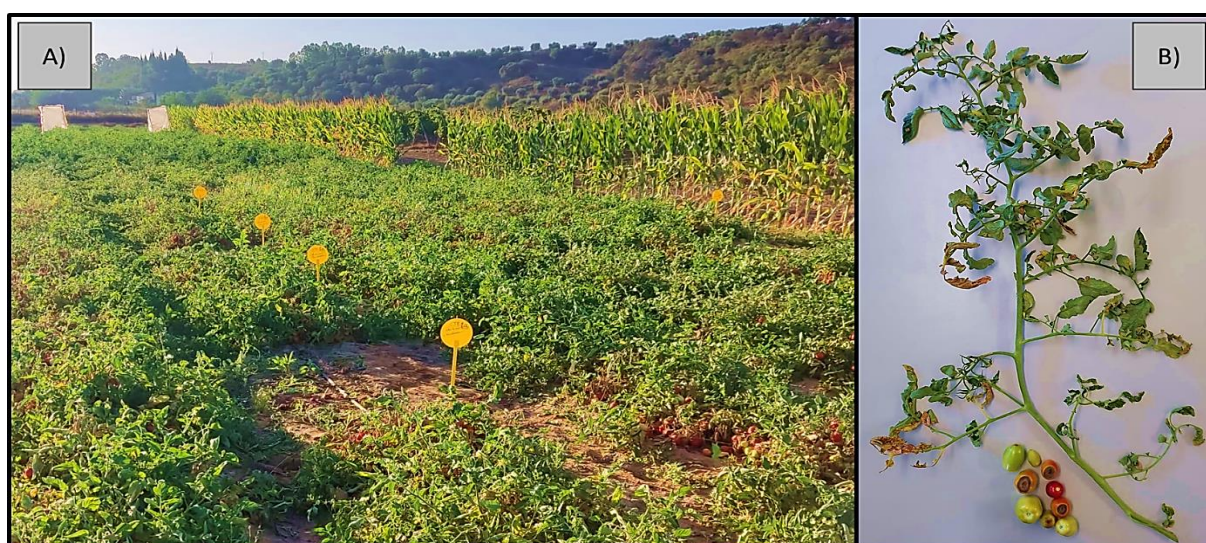


Figura 15. Recolección de las plantas en campo (A) y posterior medición en laboratorio (B).

Solo se cortó de cada planta el tallo principal desde el cuello, midiéndose en primer lugar su longitud total y luego los entrenudos. Como nudo se tomó cualquier crecimiento lateral, tanto vegetativo (foliar) como reproductivo (floral), siendo la distancia entre ellos la existente desde la parte media de un raquis a la parte media del siguiente. Además de su número y separación, se calculó el cociente entre longitud y entrenudos, resultando el ratio entrenudos/cm [Ecuación 1].

$$\text{Entrenudos/cm} = \frac{\text{Número de entrenudos}}{\text{Longitud de la planta (cm)}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

#### 4.3. Análisis del efecto de las olas de calor sobre la producción final

Al momento de la cosecha, ninguna de las plantas de la parcela se encontraba ya bajo las estructuras tipo mini - invernaderos, pero cada grupo y tratamiento permanecía marcado. Esto permitió la recolección de los frutos de forma diferenciada, cuantificándose por un lado el peso



de los tomates verdes y por otro el de los rojos [Figura 16]. Tanto en cabina como en control se dividieron las plantas en tres grupos de tres, realizándose las medidas por separado en cada uno, mientras que en túnel solo hubo los individuos suficientes para formar un grupo de tres plantas.

Para mostrar, comparar y discutir los resultados, se convirtieron los pesos en rendimiento por hectárea de cada grupo y ambiente, utilizando la fórmula siguiente [Ecuación 2] y sabiendo que el marco de plantación fue de 1,50 x 0,24 m (una densidad de 27.777 plantas/ha):

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = \frac{\text{Peso (kg} \cdot 3 \text{ plantas)} \cdot 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}}{3 \text{ plantas} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$



Figura 16. Recolección de los frutos en campo (A), clasificación por color (C) y pesada (B).

#### 4.4. Análisis del efecto de las olas de calor sobre la calidad de los frutos

El análisis de los efectos del calor sobre la calidad de los frutos se realizó en muestras de 5 tomates seleccionados al azar de cada 3 grupos de 3 plantas por ambiente y tratamiento al momento de la cosecha, que se llevaron al laboratorio para hacer las determinaciones [Figura 17].

Por un lado, se tomaron el peso unitario de cada uno de los tomates en gramos con una balanza de laboratorio (*Kern PLS*; Máx :4200 g; D=0.01 g), el diámetro longitudinal (o largo), el transversal (ancho) y se calculó posteriormente la relación entre ambos para estudiar la forma.

Por otro lado, una vez tomados los datos anteriores, se trituró cada fruto individualmente y se midieron su pH (*Crison Basic 20*), contenido en sólidos solubles (*Mettler Toledo RE 40D*) y color (*Minolta CR - 331C*) [Figura 17]. Este último parámetro sería expresado utilizando los parámetros \*L (luminosidad), \*a (eje verde - rojo) y \*b (eje azul - amarillo) del espacio CIELAB y calculando la relación a/b (que indicará el grado de predominancia del rojo sobre el amarillo).

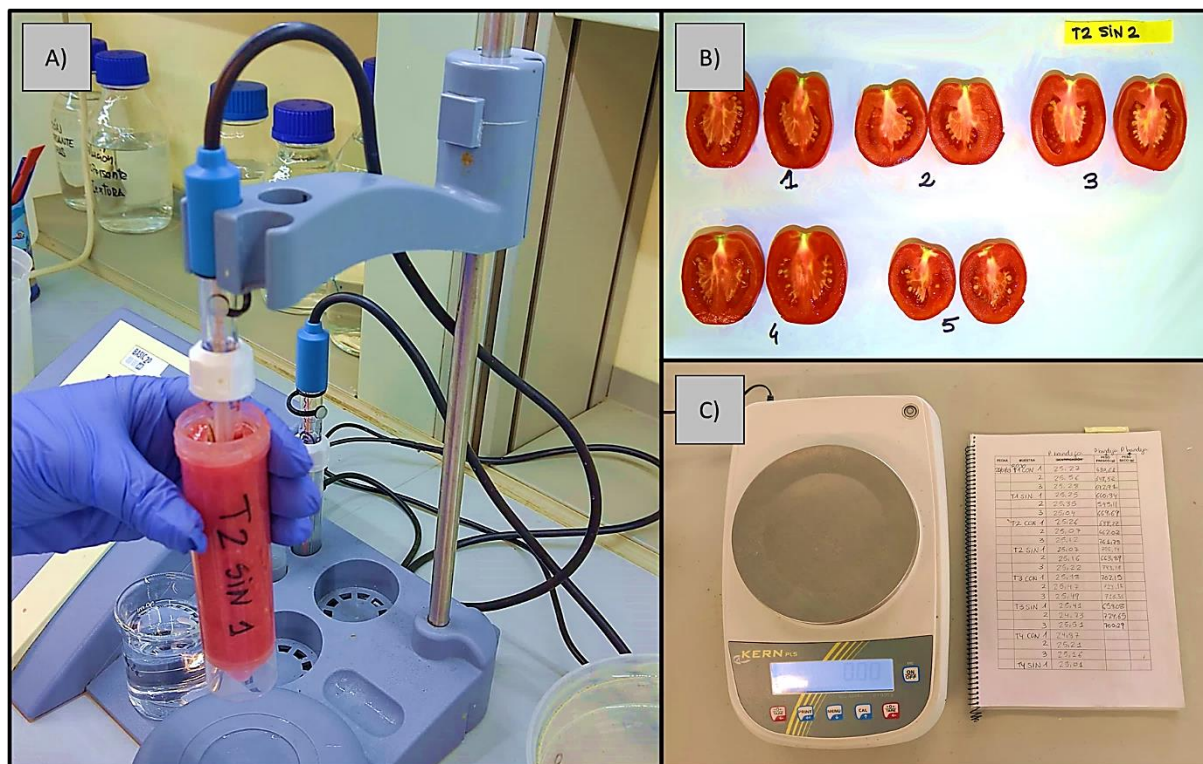


Figura 17. Medida del pH (A), imagen para el conteo de semillas (B) y balanza de pesada (C).

El número de semillas también fue contado posteriormente a partir de imágenes cenitales tomadas de los cortes transversales de cada uno de los grupos definidos de 5 tomates [Figura 17].

#### 4.5. Herramientas y métodos estadísticos para el tratamiento de los datos

En la mayoría de casos, los datos se sometieron a un ANOVA de una vía, para analizar diferencias entre los ambientes de ola de calor y entre tratamientos, utilizándose el software de cálculo *IBM SPSS Statistics Versión 21*. Al encontrarse alguna significación, se sometió a cada parámetro al test HSD de Tukey, que comparará los intervalos de confianza de las medias para averiguar si la diferencia entre ellas puede considerarse estadísticamente significativa ( $P > 0,05$ ).

En aquellas variables de las que solo se disponían datos de dos grupos, se analizaron las diferencias con la prueba paramétrica t de Student. En los resultados de producción bajo túnel, al ser el tamaño muestral igual a la unidad, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Efecto de las olas de calor sobre el desarrollo reproductivo

El desarrollo de las inflorescencias en cada tratamiento se midió durante las tres semanas que estuvieron colocadas las cabinas y las dos que estuvieron los túneles, con el fin de estudiar los efectos de las olas de calor sobre el desarrollo de la floración, cuajado y crecimiento de frutos.

La longitud de la inflorescencia en las plantas bajo túnel se empezó a medir una semana más tarde, por lo que inicialmente fue mayor allí que en el resto de ambientes. No obstante, su crecimiento se detuvo con el calor desde ese momento. En la segunda semana de tratamiento la longitud de las inflorescencias bajo túnel ya fue significativamente inferior a la de los ambientes de control y cabina. Los valores obtenidos para estos no variaron en gran medida a lo largo del ensayo, salvo en el tratamiento B. Aquí, en el ambiente control se aprecian mayores longitudes.

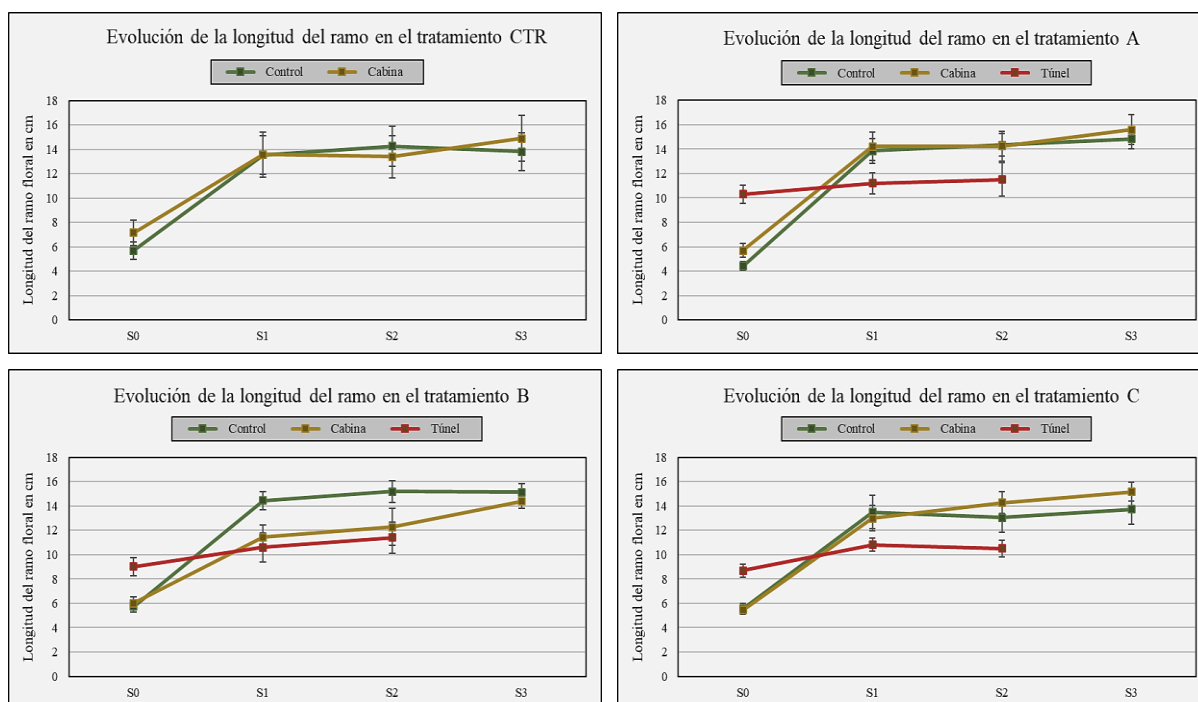


Figura 18. Efecto de los ambientes de calor sobre la longitud del ramo en cada tratamiento.

Por el contrario, respecto a la evolución de los órganos reproductivos de la inflorescencia, se han encontrado diferencias significativas finales en todos los tratamientos [Figura 19] menos el control, dónde los efectos del túnel se notaron la primera semana, muriendo los brotes florales bajo él y no pudiéndose observar posteriormente. Las inflorescencias bajo la cabina no tuvieron diferencias significativas finales respecto a las que no lo estaban, pero sí la segunda semana en el número de flores cuajadas, dilucidándose una mayor eficiencia en la polinización en control.

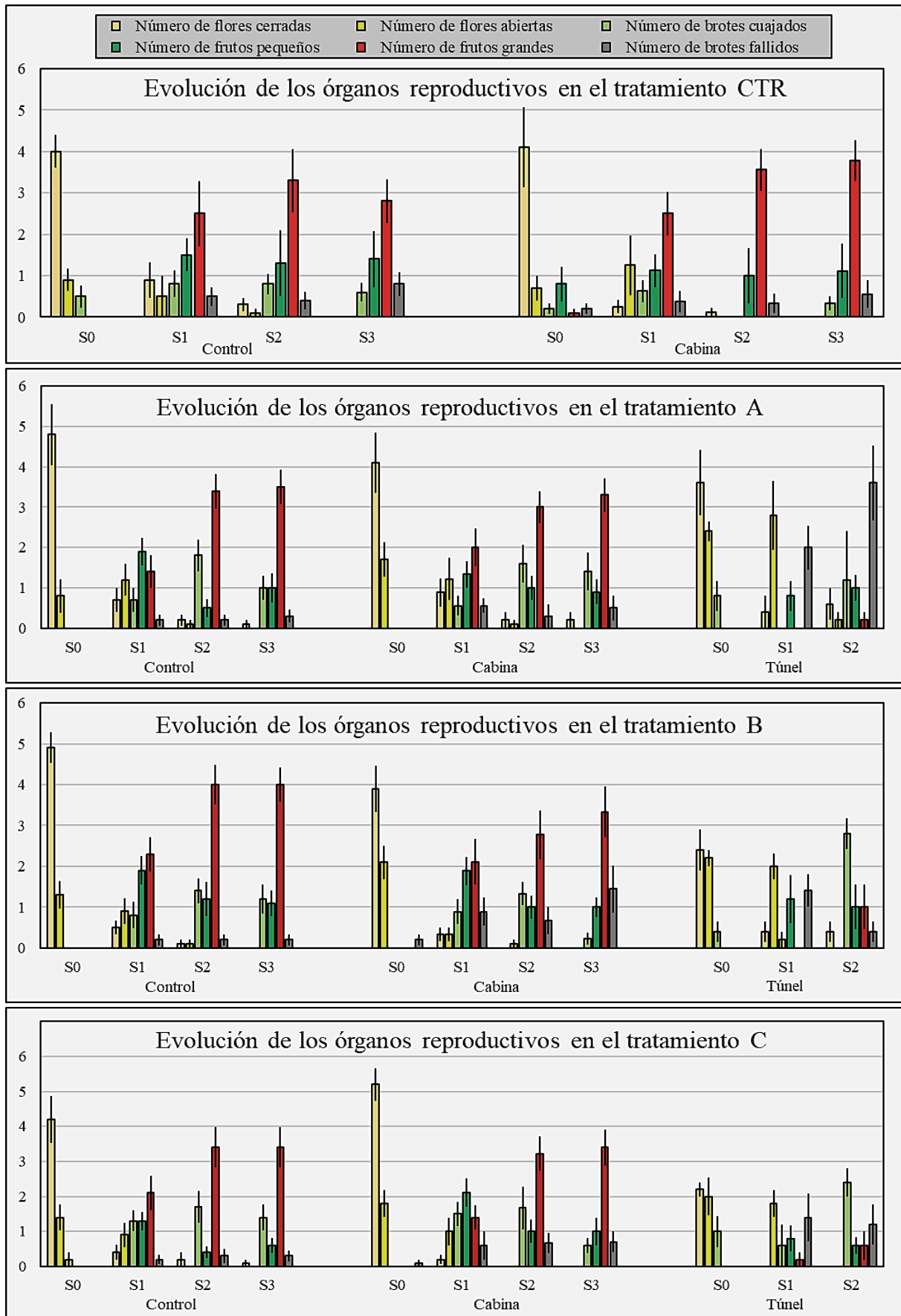


Figura 19. Efecto de los ambientes en la evolución del ramo por tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En el tratamiento A (dinamizador de suelos), las inflorescencias en plantas del ambiente control y en cabina no difirieron significativamente al final ni durante el ensayo, evolucionando de forma similar. Bajo el túnel, sin embargo, los parámetros variaron desde el inicio, mostrando hasta la retirada de las estructuras un gran número de órganos reproductivos fallidos por caída o desecación (2,6 de media al final respecto a los 0,2 del ambiente control y a los 0,3 de las plantas bajo cabina), que pudieron ser los causantes del muy bajo número de frutos grandes producidos (0,2 de media al final respecto a los 3,4 en el ambiente control y los 3 bajo cabina).

En el tratamiento B (riego extra), las plantas control y en cabina evolucionaron de forma pareja hasta el final, cuando se encontraron diferencias significativas en las flores cuajadas, una unidad menos por inflorescencia en las segundas, número de órganos reproductivos fallidos (de media 0,2 en control frente 1,4 por inflorescencia en cabina), que no resultaron en menor cuantía de frutos, al menos estadísticamente, al momento de la retirada de las estructuras. Por su parte, los brotes florales de los individuos bajo el túnel mostraron en la segunda semana, antes de retirarlo, un significativo menor número de frutos grandes (1 de media frente a los 4 de los de control y los 2,8 de los de bajo cabina), que no se podrá explicar cómo anteriormente por una mayor cifra de abortos, sino por una mayor proporción de flores recién fecundadas (2,8 frente a 1,4 en control y 1,3 en cabina), que reflejan un desarrollo más lento o polinización más difícil.

En el tratamiento C (aspersión), el desarrollo de inflorescencias en las plantas del control y bajo cabina fue similar, no encontrándose diferencias significativas entre ellas. No obstante, en las plantas bajo túnel hubo una menor cantidad de frutos grandes por brote desde la primera semana, que evolucionó hasta el final con 0,6 tomates de media respecto a 3,4 del control y 3,2 bajo cabina. En contraste con los tratamientos anteriores, no hay otras diferencias significativas entre parámetros que expliquen la reducción de producción. No obstante, se observan un mayor número de flores cuajadas y abortos (1,2 de media respecto a 0,3 en control y 0,7 bajo la cabina).

Con todo, si se comparan los tratamientos por ambiente [Tabla 4], se observan resultados similares en todos los individuos control, y diferencias significativas en los otros. Inflorescencias bajo cabina en el tratamiento C alcanzaron un mayor número de flores cuajadas que el resto en la segunda semana, pero en la tercera semana una mayor cantidad de flores fecundadas ocurrió en el tratamiento B. No obstante, esta diferencia no se materializó en diferencias significativas en el resto de parámetros. En cuanto al túnel, el tratamiento B demostró ser el más eficiente en paliar sus efectos, reduciendo significativamente el número de abortos (0,4 de media respecto a 3,6 en el A y los 1,2 del C), aunque no se refleja significancia positiva con las otras variables.

Tabla 4. Efectos de los distintos tratamientos sobre la longitud, flores, frutos y abortos por ramo floral en cada ambiente calor por semana de duración. Los datos se expresan con la media ± el error típico de cada muestra.

		Longitud en cm	Número de flores			Número de frutos		Órganos fallidos	
			Abiertas	Cerradas	Fecundadas	Pequeños	Grandes		
S0	Control	CTR	5,7 ± 0,7 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		A	4,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	4,8 ± 0,8 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		B	5,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		C	5,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,2 ± 0,7 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
	Cabina	CTR	7,2 ± 1,0 <sup>a</sup>	4,1 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>b</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		A	5,7 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,1 ± 0,8 <sup>a</sup>	1,7 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		B	6,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	3,9 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		C	5,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	5,2 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>
	Túnel	CTR	10,3 ± 1,6 <sup>a</sup>	4,4 ± 0,8 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		A	10,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	3,6 ± 0,8 <sup>a</sup>	2,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		B	9,0 ± 0,7 <sup>a</sup>	2,4 ± 0,5 <sup>a</sup>	2,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
		C	8,7 ± 0,5 <sup>a</sup>	2,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,6 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
S1	Control	CTR	13,6 ± 1,6 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,8 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,2 <sup>a</sup>
		A	13,9 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		B	14,5 ± 0,7 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,3 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		C	13,5 ± 1,4 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
	Cabina	CTR	13,6 ± 1,9 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,7 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,3 <sup>a</sup>
		A	14,2 ± 1,2 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>
		B	11,4 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,4 <sup>a</sup>
		C	13,0 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>
	Túnel	CTR	-	-	-	-	-	-	-
		A	11,2 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,6 <sup>a</sup>
		B	10,6 ± 1,2 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,4 <sup>a</sup>
		C	10,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,7 <sup>a</sup>
S2	Control	CTR	14,3 ± 1,6 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	3,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>
		A	14,4 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		B	15,2 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,4 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		C	13,1 ± 1,2 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,7 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>
	Cabina	CTR	13,4 ± 1,7 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,7 <sup>a</sup>	3,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>
		A	14,3 ± 1,2 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	3,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,3 <sup>a</sup>
		B	12,3 ± 1,5 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>ab</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a</sup>
		C	14,3 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,7 ± 0,6 <sup>b</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	3,2 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a</sup>
	Túnel	CTR	-	-	-	-	-	-	-
		A	11,5 ± 1,4 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,2 ± 1,2 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,6 ± 0,9 <sup>b</sup>
		B	11,4 ± 1,3 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,6 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>a</sup>
		C	10,5 ± 0,7 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	2,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,6 <sup>ab</sup>
S3	Control	CTR	13,8 ± 1,6 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a</sup>
		A	14,9 ± 0,8 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	3,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>
		B	15,2 ± 0,7 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,3 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>a</sup>
		C	13,8 ± 1,3 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>a</sup>
	Cabina	CTR	14,9 ± 1,9 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>ab</sup>	1,1 ± 0,7 <sup>a</sup>	3,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,3 <sup>a</sup>
		A	15,6 ± 1,2 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,5 <sup>b</sup>	0,9 ± 0,3 <sup>a</sup>	3,3 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,3 <sup>a</sup>
		B	14,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,3 ± 0,6 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,6 <sup>a</sup>
		C	15,2 ± 0,8 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>ab</sup>	1,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	3,4 ± 0,5 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a</sup>
	Túnel	CTR	-	-	-	-	-	-	-
		A	-	-	-	-	-	-	-
		B	-	-	-	-	-	-	-
		C	-	-	-	-	-	-	-

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos del mismo ambiente y tiempo. ANOVA y Test HSD de Tukey (p < 0,05). S, semana (S0: inicio, S1: 1º. semana...); CTR, tratamiento control; A, tratamiento con Dynamizer; B, tratamiento con doble riego, y C, tratamiento con aspersion de apoyo.

Son muchos los autores que han estudiado los efectos que generan las altas temperaturas sobre la reproducción de la planta de tomate, pues no es solo uno de los aspectos en los que más se verá afectada (Jagadish et al., 2021), sino que posee una gran influencia para la recolección posterior. Así, aunque son pocos los artículos donde se mide la elongación de los brotes florales, varios cuantifican el número de flores. En 1998, Lohar y Peat reportaron una reducción de estos valores tanto en variedades resistentes como sensibles a estrés térmico a 35/30 °C (día/noche), llegando incluso las segundas a no realizar la antesis en 3 de cada 4 individuos, y resultando excesivas estas temperaturas para su desarrollo. En esta línea, Xu et al. (2017), publicaron una disminución de hasta el 25 % de media respecto al número de flores de 30 cultivares de tomate cultivado a 32 °C en comparación a sus homólogos a 25/19 °C. El hecho de ser temperaturas de tratamiento algo mayores a las que estaban sometidas las plantas bajo cabina, 31/21 °C, y túnel, 31/26 °C, explica no haber encontrado diferencias significativas a este respecto con el control.

En cuanto a la fecundación y cuajado, Sato et al. (2000) realizaron un ensayo en el que sometieron un grupo de plantas de tomate a condiciones normales de temperatura (28/22 °C) y otro a condiciones similares a las existentes bajo túnel en este trabajo (32/26 °C), disminuyendo en todas los porcentajes de cuajado con la temperatura hasta valores menores al 5 %, salvo en el caso de la variedad más resistente, en la que seguía siendo menor al 20 %. Los resultados de Sato et al. muestran un efecto extremo de la temperatura sobre la fecundación, no relacionado con el obtenido aquí, que es más parecido al reportado por Levy et al. (1978), que cultivarían plantas de tomate en condiciones normales (23/17 ± 3 °C) y con calor (33/23 ± 2 °C), disminuyendo el número de frutos cuajados, pero no siendo una diferencia significativa en variedades tolerantes.

Otro efecto relacionado en gran medida con la formación de frutos y el rendimiento por planta serán los abortos florales inducidos por calor (Vijayakumar y Beena, 2020), efecto patente en el presente ensayo y reportado también Levy et al. (1978), que advirtieron hasta un 66 % de inflorescencias de tomate caídas en variedades sensibles al estrés térmico y un 10% en tolerantes a 33/23 °C, o Comlekcioglu y Soyly (2010), que observaron como varios genotipos a 37/27 °C llegaron a superar el 80 % de flores abortadas, reduciéndose hasta en torno el 15 % a temperaturas menores de 32/22 °C (más cercanas a las alcanzadas en este trabajo). Según Ozores - Hampton y McAvoy (2010), este fenómeno no solo será desencadenado por el calor, sino que la humedad relativa adquiere asimismo relevancia, aunque menor para Arthanari y Dhanapalan (2019), que la relacionan más con la fecundación y secado de los granos de polen. De una forma u otra, las diferencias entre tratamientos reflejan una disminución significativa de abortos florales según aumenta la aplicación de agua, que también pudo servir para mitigar efectos de la temperatura.



La reducción en la longitud de las inflorescencias y la caída de flores son parámetros que reflejan efectos del calor que pueden entenderse de forma independiente, pero la investigación de otros como la tasa de fecundación y cuajado resulta incompleta si no se conocen sus factores limitantes, fruto de sinergias del estrés en los tejidos masculinos y femeninos (Zinn et al., 2010).

Por ello, todo el estudio anterior se completa con un análisis más específico de los efectos que la ola de calor tuvo en el androceo y gineceo. Así, respecto al primero, se realizaron ensayos de la abundancia y viabilidad del polen, alcanzándose los resultados mostrados en la Figura 20.

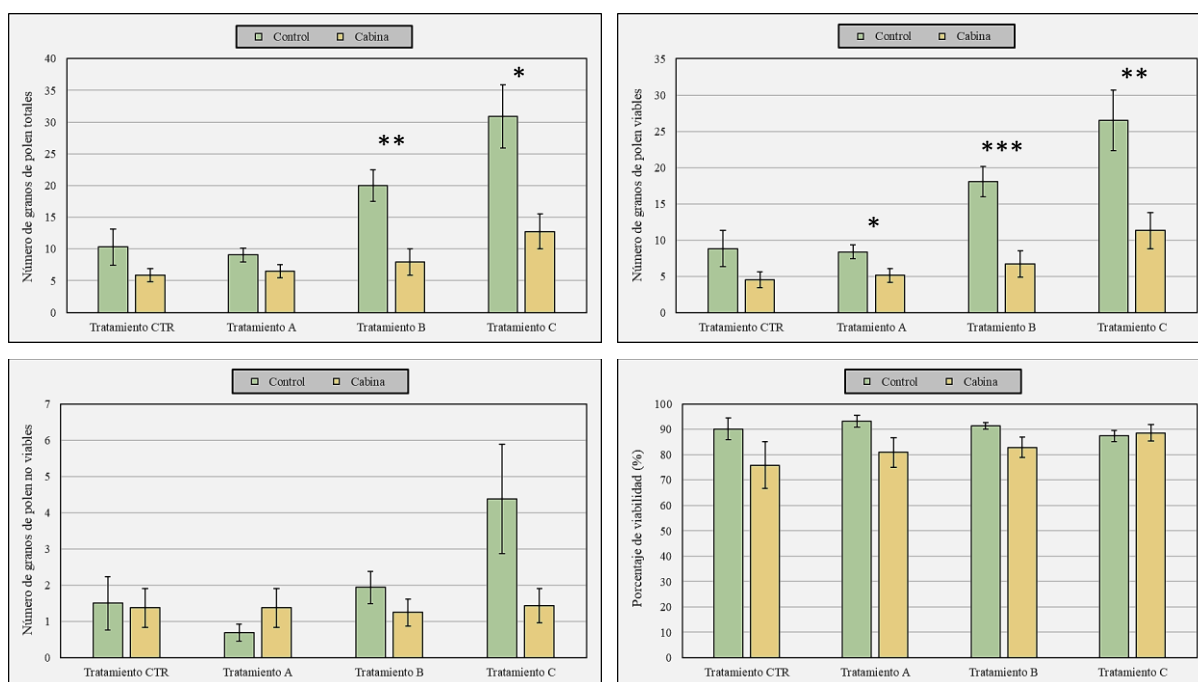


Figura 20. Efecto de los ambientes de ola de calor sobre los granos totales, viables, no viables y la viabilidad (de arriba a abajo, izquierda a derecha) en cada tratamiento. \*. \*\* o \*\*\* indican diferencias significativas entre ambientes por la prueba t de Student ( $P < 0,05$ ,  $0,01$  o  $0,001$ ).

En el tratamiento control no hubo diferencias significativas entre el polen de las plantas bajo cabina y al aire libre, pero sí se observa una reducción en la mayoría de variables medidas, con una diferencia porcentual del 54,73 % en el número de granos y del 17,15 % de la viabilidad. En el tratamiento A los resultados fueron parecidos al control, sin diferencias significativas entre los ambientes, con unas reducciones más suaves de viabilidad y número de granos. En B, las divergencias en viabilidad se mantienen casi igual al A, pero con significativa disminución del número de granos totales (20 de media en el control frente a 7,9 en cabina) y viables (18 de media en control frente a los 6,7 en cabina). En el tratamiento C también se observan diferencias significativas en el número de granos totales (30,9 de media en control frente a 12,7 en cabina) y viables (26,5 en control y 11,3 en cabina), pero con los porcentajes de viabilidad más parejos entre ambientes que en el resto de casos, con valores ligeramente mayores en cabina que control.

Si se comparan los resultados de cada tratamiento sobre los distintos ambientes de ola de calor [Tabla 5], se observan diferencias significativas tanto en control como en cabina. En el primer caso, la aspersión del tratamiento C ha logrado aumentar en gran medida el número total de granos de polen (alrededor del 100% de diferencia porcentual respecto al CTR y A, y un 43% respecto al B), resultando la viabilidad similar en todos. En el segundo caso, el tratamiento C ha sido también el que mejores valores ha obtenido, incrementando significativamente el número de granos viables y, de forma no significativa pero remarcable, también los totales y la viabilidad.

Tabla 5. Efectos de los distintos tratamientos sobre la cantidad y viabilidad del polen en cada ambiente de ola de calor, a excepción del túnel. Los datos aparecen expresados con la media  $\pm$  el error típico de cada muestra.

		En total	Viables	No viables	Viabilidad (%)
Control	Tratamiento CTR	10,31 $\pm$ 2,85 <sup>a</sup>	8,81 $\pm$ 2,84 <sup>a</sup>	1,50 $\pm$ 0,73 <sup>ab</sup>	90,15 $\pm$ 4,25 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	9,06 $\pm$ 1,10 <sup>a</sup>	8,38 $\pm$ 0,99 <sup>a</sup>	0,69 $\pm$ 0,24 <sup>a</sup>	93,24 $\pm$ 2,28 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	20,00 $\pm$ 2,48 <sup>ab</sup>	18,06 $\pm$ 2,10 <sup>ab</sup>	1,94 $\pm$ 0,44 <sup>ab</sup>	91,41 $\pm$ 1,33 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	30,88 $\pm$ 4,97 <sup>b</sup>	26,50 $\pm$ 4,17 <sup>b</sup>	4,38 $\pm$ 1,51 <sup>b</sup>	87,41 $\pm$ 2,16 <sup>a</sup>
Cabina	Tratamiento CTR	5,88 $\pm$ 1,00 <sup>a</sup>	4,50 $\pm$ 1,09 <sup>a</sup>	1,38 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	75,91 $\pm$ 9,12 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	6,50 $\pm$ 1,08 <sup>a</sup>	5,13 $\pm$ 0,98 <sup>ab</sup>	1,38 $\pm$ 0,53 <sup>a</sup>	80,89 $\pm$ 5,77 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	7,94 $\pm$ 2,08 <sup>a</sup>	6,69 $\pm$ 1,79 <sup>ab</sup>	1,25 $\pm$ 0,37 <sup>a</sup>	82,91 $\pm$ 4,06 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	12,75 $\pm$ 2,75 <sup>a</sup>	11,31 $\pm$ 2,49 <sup>b</sup>	1,44 $\pm$ 0,47 <sup>a</sup>	88,61 $\pm$ 3,32 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos del mismo ambiente. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). CTR, control; A, riego con Dynamizer; B, doble riego, y C, aspersión.

Al concluir la gran parte de los autores que el androceo es el órgano más sensible de las plantas de tomate al calor (Alsamir et al., 2021), la mayoría de artículos sobre esto abordan el estudio del polen. Firon et al. (2006) ensayaron en un invernadero con variedades sensibles y tolerantes a temperaturas de 31/25 °C, aumentándose significativamente en todas ellas los granos no viables (más del doble en las sensibles). Similar fue lo que sucedió para Xu et al. (2017), que vieron cómo decrecía tanto la viabilidad como el número de granos en individuos sometidos a una temperatura media de 32 °C, o a Akhtar et al. (2012), que reportaron como el mayor factor limitante para el cuajado de flores de tomate en campo sometidas a 35/19 °C el efecto del calor sobre la viabilidad de los granos de polen, que pasó del 88 % al 37 % de media en los genotipos ensayados. Todos ellos, y otros como Sato et al. (2000), coinciden en la considerable merma en el número de granos totales, pero también en una mucho menor viabilidad, que se ha observado.

No obstante, los resultados obtenidos en el ensayo encuentran una mayor correlación con los expuestos por Pressman et al. (2002), que afirmaron que una exposición continua del tomate a altas temperaturas tenía principalmente dos efectos sobre el polen: la reducción del número de granos totales, y una menor germinación junto a un decremento más moderado de la viabilidad.

Vistos los efectos sobre el androceo, para estudiar el gineceo se microfotografiaron flores tanto del ambiente bajo cabina como control, presentadas en las figuras 20 y 21, para analizarse y, más adelante, ver la influencia de las diferencias en su formación sobre la calidad de los frutos.

El ovario de la flor del ambiente control estará formado por tres carpelos que presentan una estructura de hoja (con la epidermis englobando al tejido parenquimático) y se encontrarán unidos para crear la placenta en la zona central del órgano [Figura 21]. En ella se insertarán, a través del funículo, los rudimentos seminales u óvulos, en donde se desarrollan los gametofitos femeninos, contenidos en su parte más interna (nucela) y rodeados por los tegumentos exteriores que envuelven por completo a todo el conjunto, excepto al ápice, que posee una abertura llamada micropilo [Figura 21]. La importancia de una correcta formación de óvulos recae precisamente en que serán los que formen las semillas tras ser fecundados, existiendo una correlación positiva teórica entre la cantidad de ambos en condiciones de polinización perfectas (Bard et al., 2009).

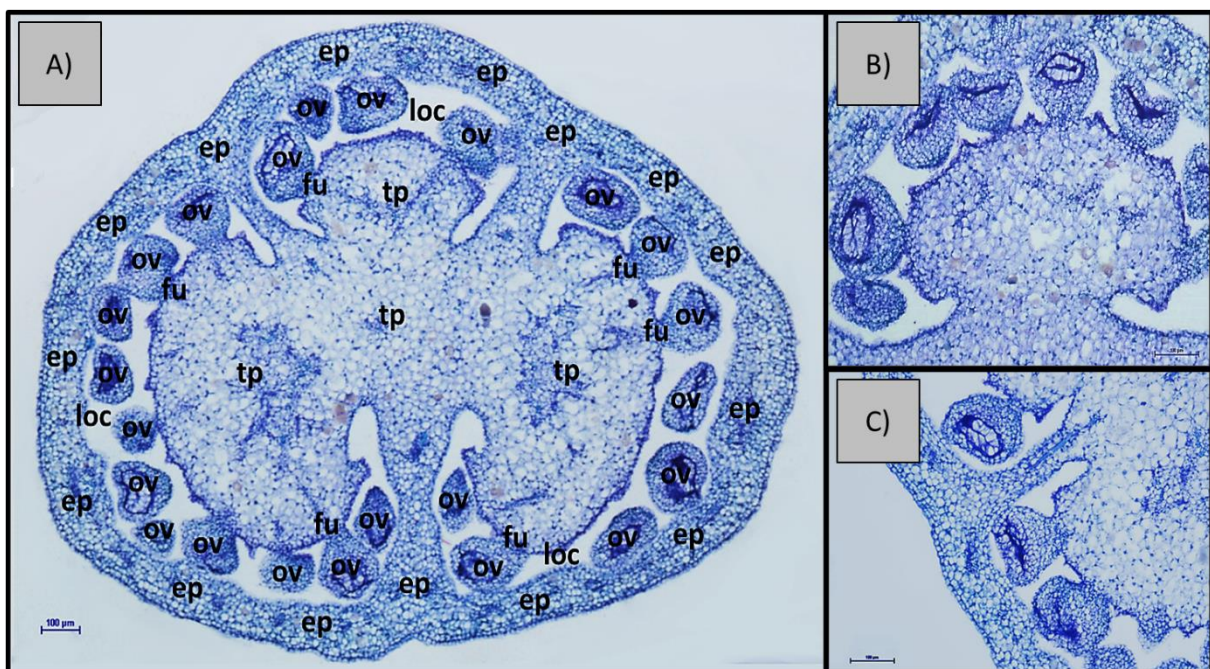


Figura 21. Fotografía al microscopio de un corte transversal del ovario de una flor de tomate del ambiente control (A) y ampliación de la estructura de sus óvulos (B y C). Se observará como la estructura está rodeada por epicarpio (ep), que se une creando tres lóculos (loc) para formar en el centro el tejido placentario (tp), dónde se insertarán los óvulos (ov) a través del funículo (fu).

El estudio del ovario es también importante porque de su estructura primigenia no solo dependerá el número de semillas, sino el tamaño final. Varga y Bruinsma (1976) reportaron que los ovarios con muchos óvulos inician su desarrollo poco después de la antesis, alcanzando un mayor tamaño de fruto que los partenocárpicos, en los que el crecimiento se retrasará. Además, a partir de las 8 semillas, el tamaño final del fruto iba aumentar en tanto aumentara su logaritmo.

Si se comparan las fotografías del gineceo del ambiente control y bajo cabina [Figura 22], se aprecian grandes diferencias tanto en tamaño como morfología. Con un mayor diámetro de ovario, la flor que ha sufrido el estrés térmico desde su formación ha desarrollado una placenta muy superior a la del ambiente control, que ocupa casi la totalidad de los tres lóculos. Esto parece relacionarse con la cantidad de óvulos creados, bastante más elevada en las plantas que crecieron en condiciones normales de temperatura, y su forma, menos homogénea y casi insertada en el tejido placentario. En cuanto al pericarpio, aunque ligeramente más grueso en el ovario que se desarrolló bajo cabina, lo que puede deberse a su mayor proporción, y teniendo un aspecto más redondeado y poco prominente, no presenta discrepancias tan significativas como las anteriores.

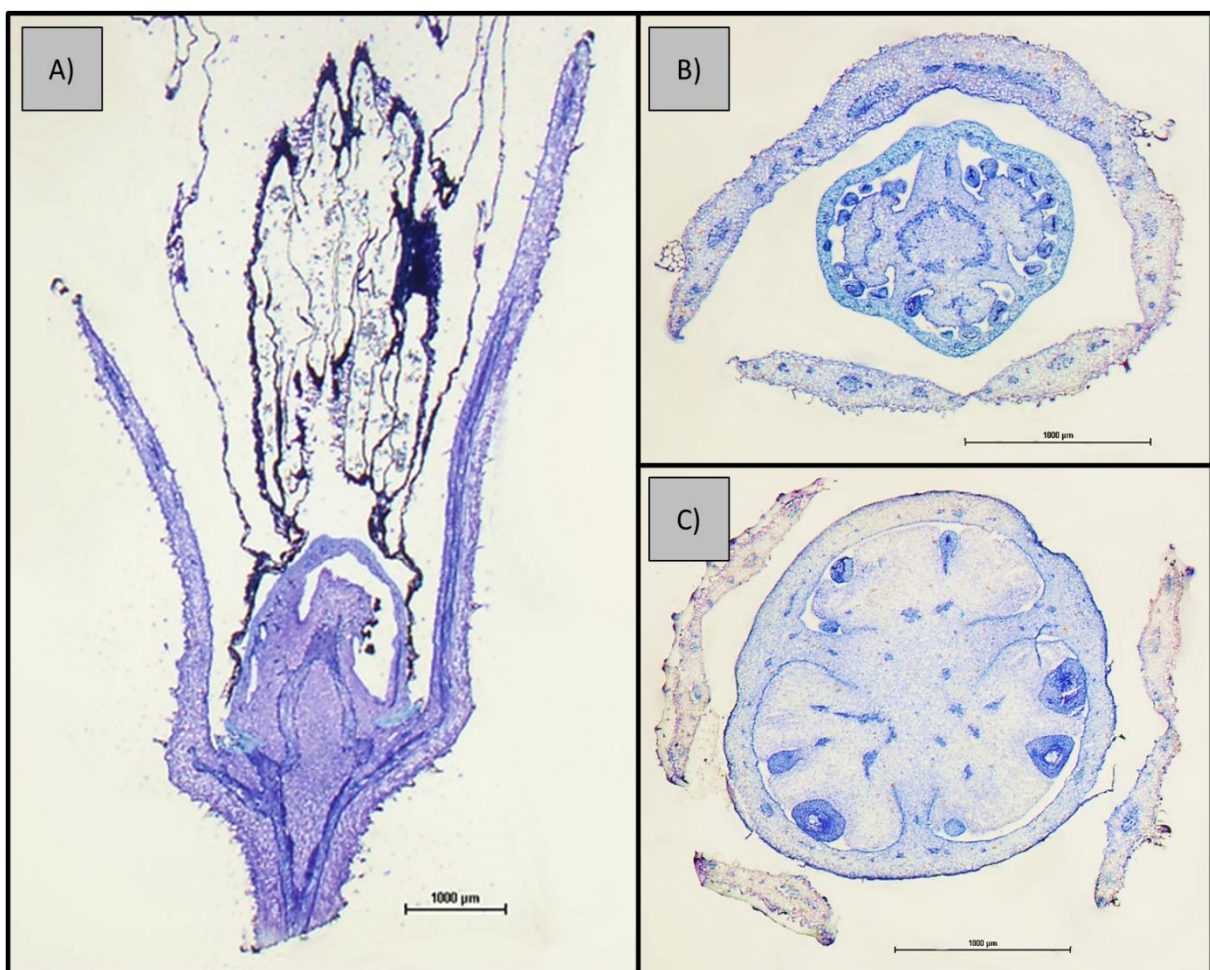


Figura 22. Corte transversal del ovario de una flor perteneciente al ambiente control (B), y un corte longitudinal (A) y otro transversal (B) de una flor perteneciente al ambiente bajo cabina.

## 5.2. Efecto de las olas de calor sobre el desarrollo vegetativo

El análisis del crecimiento vegetativo, igualmente influenciado por las olas de calor, se realizó estudiando la longitud total de la rama principal lateral, y el número y extensión de los entrenudos en cada tratamiento y ambiente al momento de la cosecha de los frutos [Figura 23].

La comparación de los ambientes por tratamiento no produjo diferencias significativas en la longitud del tallo, pero se observan mayores en las plantas no sometidas al calor, salvo en el caso en que se aplicó la aspersión [Figura 23]. Esto resulta en parte contradictorio con Ohtaka et al. (2020), que postularon que altas temperaturas junto con diferencias térmicas entre el día y la noche positivas ( $DIF > 0$ ) iban a potenciar la elongación del tallo, lo que solo se ha visto en el tratamiento C. La contradicción puede deberse a que esas altas temperaturas referidas por los autores ( $30/25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) son inferiores bajo cabina ( $31/21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), y bajo túnel, al ser más altas ( $31/26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), siendo otra explicación la mayor duración del estrés térmico. De cualquier forma, la bibliografía mayoritariamente propone que el aumento de la temperatura a DIF positivos potencia la elongación del tallo en tomate (Heuvelink et al., 1989; Vijayakumar et al, 2021; Park et al., 2023). Por otro lado, en cuanto al número de entrenudos tampoco habría diferencias significativas entre ambientes. Berghage et al. (1998) indicaron que el número de nudos foliares crece con el calor hasta un máximo que generalmente se encuentra entre  $22$  y  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sin resultar afectados por las diferencias entre día y noche. Se aprecia sin significancia estadística en los tratamientos A y C.

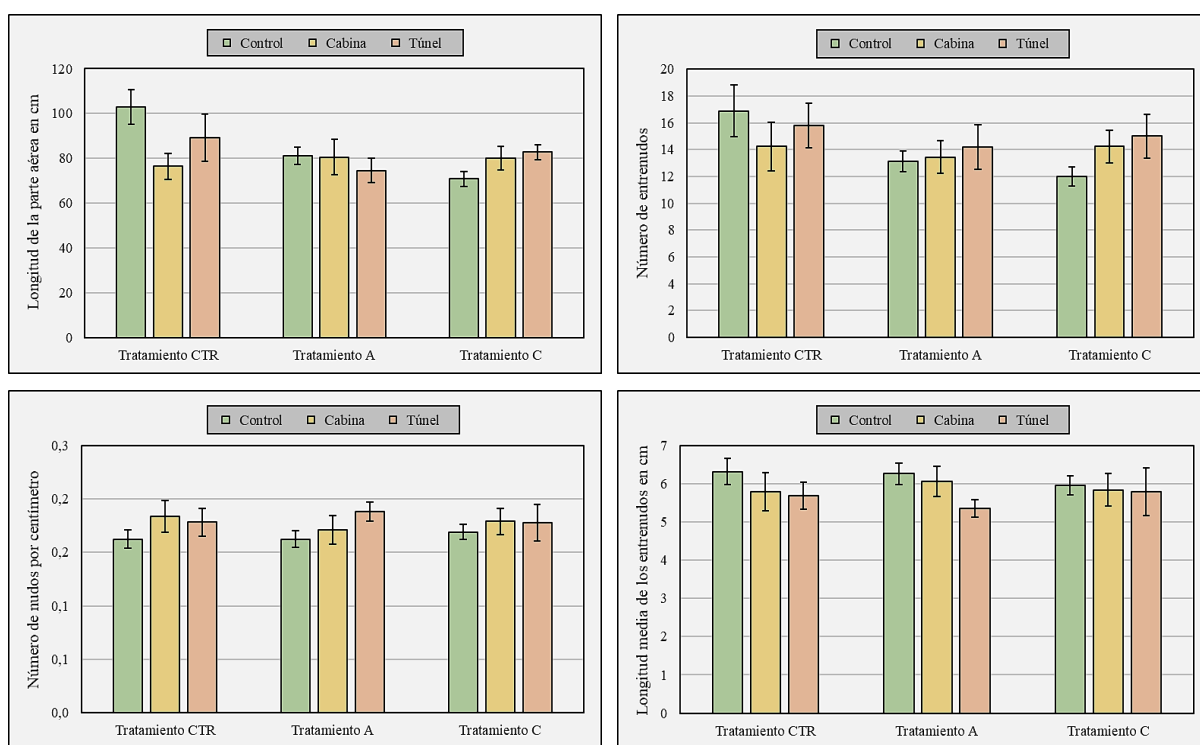


Figura 23. Efectos de los ambientes de ola de calor sobre el porte, entrenudos, su longitud y entrenudos/cm (de arriba a abajo, izquierda a derecha) en cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Si se comparan los tratamientos por ambiente [Tabla 6], la longitud aérea en las plantas en las que no se aplicó la ola de calor y las que estaban bajo los túneles resultó significativamente mayor en el tratamiento CTR (un 23,67 % respecto al A y un 36,98 % respecto al C en el control,

mientras que un 17,83 % respecto al A, un 35,36 % respecto al B y un 7,44 % respecto al C en túnel). En cuanto a los entrenudos, aunque no existen diferencias significativas entre su número por centímetro y su longitud media, su número sí resulta significativamente mayor en las plantas control del tratamiento CTR respecto a las de los tratamientos A y C, no así en cabina ni en túnel.

Teniendo en cuenta que el aumento de la temperatura se relaciona positivamente con el crecimiento vegetativo, los resultados tienen sentido si se considera que todos los tratamientos han logrado mitigar los efectos del calor e inhibir la elongación. Esto podría haberse comprobado si durante el estudio se hubiese medido la temperatura en los tejidos de las plantas y no solo en el ambiente exterior, tal y como plantean Jagadish et al. (2021) en su revisión del estrés térmico.

Tabla 6. Efectos de los distintos tratamientos de ola de calor sobre la longitud de la parte aérea (cm), el número de entrenudos, el número de entrenudos/cm y la longitud media de los entrenudos en cada ambiente, con excepción del B. Los datos aparecen expresados con la media  $\pm$  el error típico de cada muestra.

		Longitud de la parte aérea (cm)	Número de entrenudos	Número de entrenudos/cm	Longitud media de los entrenudos (cm)
Control	Tratamiento CTR	102,89 $\pm$ 7,86 <sup>b</sup>	16,89 $\pm$ 1,91 <sup>b</sup>	0,16 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	6,32 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	81,11 $\pm$ 3,77 <sup>a</sup>	13,11 $\pm$ 0,77 <sup>ab</sup>	0,16 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	6,26 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	-	-	-	-
	Tratamiento C	70,78 $\pm$ 3,46 <sup>a</sup>	12,00 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>	0,17 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,96 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>
Cabina	Tratamiento CTR	76,44 $\pm$ 5,69 <sup>a</sup>	14,22 $\pm$ 1,81 <sup>a</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,79 $\pm$ 0,50 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	80,56 $\pm$ 7,94 <sup>a</sup>	13,44 $\pm$ 1,20 <sup>a</sup>	0,17 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	6,06 $\pm$ 0,39 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	-	-	-	-
	Tratamiento C	80,00 $\pm$ 5,35 <sup>a</sup>	14,22 $\pm$ 1,22 <sup>a</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,84 $\pm$ 0,43 <sup>a</sup>
Túnel	Tratamiento CTR	89,20 $\pm$ 10,52 <sup>b</sup>	15,80 $\pm$ 1,69 <sup>a</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,68 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	74,60 $\pm$ 5,33 <sup>ab</sup>	14,20 $\pm$ 1,66 <sup>a</sup>	0,19 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,36 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	62,40 $\pm$ 3,67 <sup>a</sup>	11,00 $\pm$ 0,95 <sup>a</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,74 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	82,80 $\pm$ 3,31 <sup>ab</sup>	15,00 $\pm$ 1,61 <sup>a</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,80 $\pm$ 0,63 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos del mismo ambiente. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). CTR, control; A, riego con Dynamizer; B, doble riego, y C, aspersión.

En 2023, Xue et al. realizaron un ensayo en donde utilizaban una microaspersión para mejorar el crecimiento de plantas de tomate bajo condiciones de calor en invernadero, de forma similar a la usada en el presente trabajo, obteniendo aumentos en la longitud del tallo de hasta el 19,2 % respecto a su tratamiento control. Aunque las temperaturas que alcanzaron Xue et al. fueron superiores (40 °C) a las del ambiente bajo túnel (29°C), los resultados fueron parecidos en forma, pues el tratamiento C ha sido el que más longitud de tallo ha alcanzado de entre todas las estrategias planteadas. No obstante, pese a ello, no superó la elongación vista en el control, lo que puede deberse de nuevo a la reducción del calor que provocarían los métodos aplicados.

### 5.3. Efecto de las olas de calor sobre la producción final

Las respuestas fisiológicas al calor, como las irregularidades del desarrollo reproductivo o las alteraciones del crecimiento vegetativo, van a tener efectos sobre el rendimiento, incluso cuando la temperatura se encuentre solo algo encima del óptimo (Vijayakumar y Beena, 2020).

En el tratamiento control [Figura 24], el rendimiento es superior en plantas no sometidas a estrés, pero no así el porcentaje de frutos rojos (un 73 % frente al 88 % en cabina). En cuanto al ambiente en túnel, pese a que el tamaño de muestra es demasiado reducido, se puede ver una reducción drástica tanto del peso/hectárea como del porcentaje de maduración, que baja al 17%. En los tratamientos A y C también se ha intuido un ligero decrecimiento de la producción por el estrés térmico, pero las diferencias no han sido significativas. Además, el porcentaje de frutos rojos pasa a ser mayor en ambiente control que en cabina, como sucedía en CTR bajo túnel. El tratamiento B, al cosecharse antes, debe compararse al resto con reservas, pero puede estudiarse por separado, obteniéndose más rendimiento pero menor porcentaje de frutos rojos (68 % frente al 92 % y 89 %) en las plantas no sometidas a ola de calor que en las estresadas (cabina y túnel).

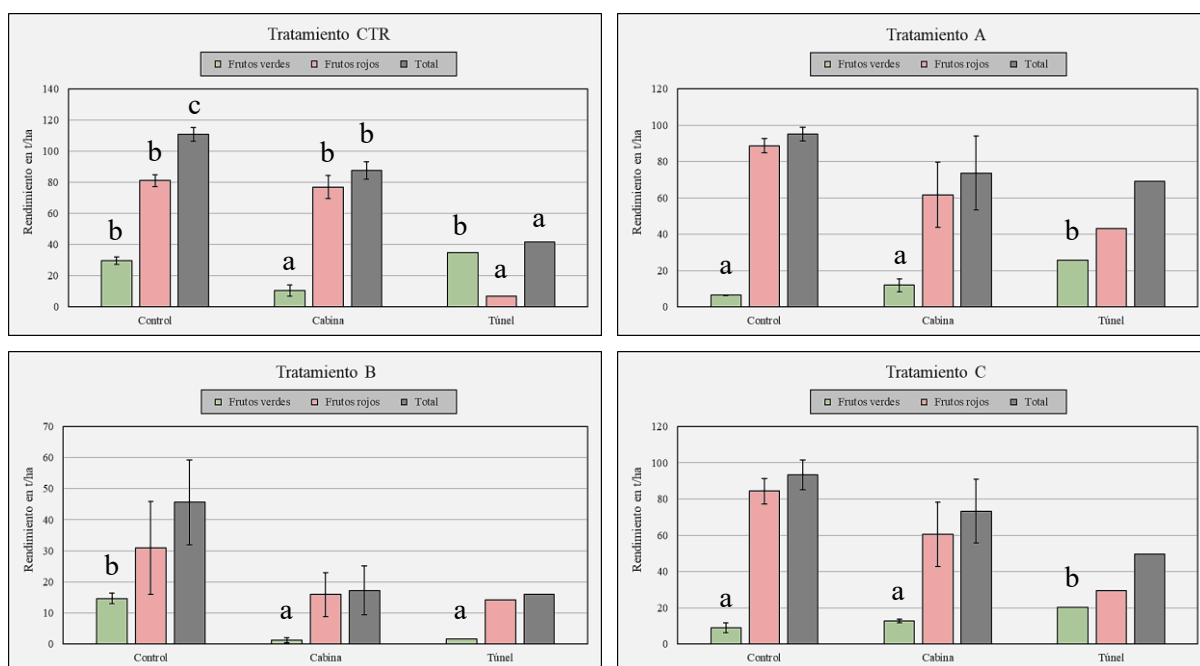


Figura 24. Efecto de los ambientes sobre el rendimiento en cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En cuanto a diferencias entre tratamientos [Tabla 7], en ambiente control es significativa la reducción del rendimiento total en el tratamiento B, así como un retraso en su maduración, posiblemente debido a los problemas por encharcamiento. Respecto al resto, la producción en el tratamiento CTR fue mayor, pero el porcentaje de frutos rojos no (73 % frente a 93 % y 90 %).

Bajo condiciones de cabina, a excepción del tratamiento B, la producción y maduración fueron más uniformes entre tratamientos, siendo casi iguales en el A y C. No obstante, bajo túnel, aunque sin significancia, el tratamiento A parece haber conseguido aumentar la producción por encima del resto, estando el CTR y C parejos, y el B a la cola. De la misma forma, la maduración se aceleró en el A (63 %), seguido del C (59 %) y el CTR (17 %), despuntando el B con un 90 %.

Tabla 7. Efectos de los distintos tratamientos sobre el rendimiento en cada ambiente de ola de calor. Los datos aparecen expresados con la media  $\pm$  el error típico de cada muestra. Las medias de las plantas bajo túnel, al realizarse solamente una medida, son iguales al valor obtenido en esta, teniendo un error típico de cero.

		kg de frutos verdes/ha	kg de frutos rojos/ha	kg de frutos totales/ha
Control	Tratamiento CTR	29.691 $\pm$ 2.522 <sup>c</sup>	81.111 $\pm$ 3.793 <sup>ab</sup>	110.802 $\pm$ 4.415 <sup>b</sup>
	Tratamiento A	6.426 $\pm$ 235 <sup>a</sup>	88.691 $\pm$ 3.916 <sup>b</sup>	95.117 $\pm$ 3.755 <sup>ab</sup>
	Tratamiento B	14.645 $\pm$ 1.662 <sup>b</sup>	30.939 $\pm$ 14.944 <sup>a</sup>	45.583 $\pm$ 13.662 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	9.059 $\pm$ 2.766 <sup>ab</sup>	84.290 $\pm$ 6.992 <sup>b</sup>	93.349 $\pm$ 8.321 <sup>ab</sup>
Cabina	Tratamiento CTR	10.630 $\pm$ 3.563 <sup>a</sup>	76.994 $\pm$ 7.275 <sup>b</sup>	87.623 $\pm$ 5.602 <sup>b</sup>
	Tratamiento A	11.923 $\pm$ 3.496 <sup>a</sup>	61.741 $\pm$ 17.984 <sup>ab</sup>	73.664 $\pm$ 20.286 <sup>b</sup>
	Tratamiento B	1.295 $\pm$ 825 <sup>a</sup>	15.900 $\pm$ 7.082 <sup>a</sup>	17.195 $\pm$ 7.889 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	12.775 $\pm$ 1.103 <sup>a</sup>	60.478 $\pm$ 17.767 <sup>ab</sup>	73.253 $\pm$ 17.533 <sup>b</sup>
Túnel	Tratamiento CTR	34.867 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	6.961 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	41.828 $\pm$ 0 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	25.750 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	43.278 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	69.028 $\pm$ 0 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	1.728 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	14.172 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	15.900 $\pm$ 0 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	20.222 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	29.311 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	49.533 $\pm$ 0 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos. ANOVA, Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) y Krushal - Wallis. CTR, control; A, riego con Dynamizer; B, doble riego, y C, aspersión.

Debido a que del rendimiento depende en su mayor parte el beneficio económico, serán muchos autores los que hayan estudiado los efectos del calor sobre él, coincidiendo en general en que los aumentos de temperatura provocan una menor producción (Akhtar et al, 2012; Ro et al., 2021; Vijayakumar y Beena, 2023; Park et al., 2023), tal y como se ha observado aquí para todos los tratamientos. Por otro lado, también existe consenso en el efecto sobre la maduración, produciéndose un adelanto a medida que aumenta la temperatura hasta cierto punto, alrededor de 26 °C, retrasándose a partir de ahí (Adams et al., 2001; Mitcham y McDonald, 1991, y Paull y Chen, 2000). Este consecuencia parece reflejarse en el ensayo, acelerándose la maduración en las plantas bajo cabina (26 °C de media) y ralentizándose bajo túnel (28 °C). Por último, pese a que son varios los autores que han experimentado microaspersión para paliar los impactos del calor sobre la producción de tomate (Zhang et al., 2022; Xue et al., 2023), con buenos resultados de hasta rendimientos mayores del 40 %, resultados que concuerdan parcialmente con los vistos, dónde, sin diferencias significativas, el tratamiento con *Dynamizer* ha dado mejores respuestas.



#### 5.4. Efecto de las olas de calor sobre la calidad del fruto

Una exposición prolongada al calor durante el crecimiento no solo tendrá efectos sobre el rendimiento, sino también sobre la calidad de los frutos en las plantas de tomate (Vijayakumar y Beena, 2020). Por ello, se presentan los resultados de los estudios fisicoquímicos postcosecha.

En cuanto al peso unitario de los frutos, no variaron significativamente en el tratamiento control, pero sí en el resto [Figura 25]. Mientras que el A obtuvo valores más altos bajo cabina, el B obtuvo los más bajos en ese ambiente. La aspersion, por su parte, aumentó el peso de los frutos sometidos a ola de calor respecto del control. Si se comparan tratamientos [Tabla 8], los mayores pesos en cabina y túnel, sobre todo bajo este último (en torno a un 33 % superiores a los demás), se obtuvieron con la aspersion, seguida del A y dejando al B incluso tras el CTR.

Al ser el peso de los frutos, junto con la cantidad, un componente clave del rendimiento, su estudio ha acompañado una gran variedad de ensayos sobre estos dos parámetros. De forma general, se coincide en que, a una mayor temperatura, menor peso (Papadopoulos y Hao, 2001; Adam et al., 2001; Fleisher et al., 2005) pues, a medida que aumentaba la temperatura, disminuía el periodo de madurez, haciendo que los frutos tuviesen menos tiempo para la ganancia de peso.

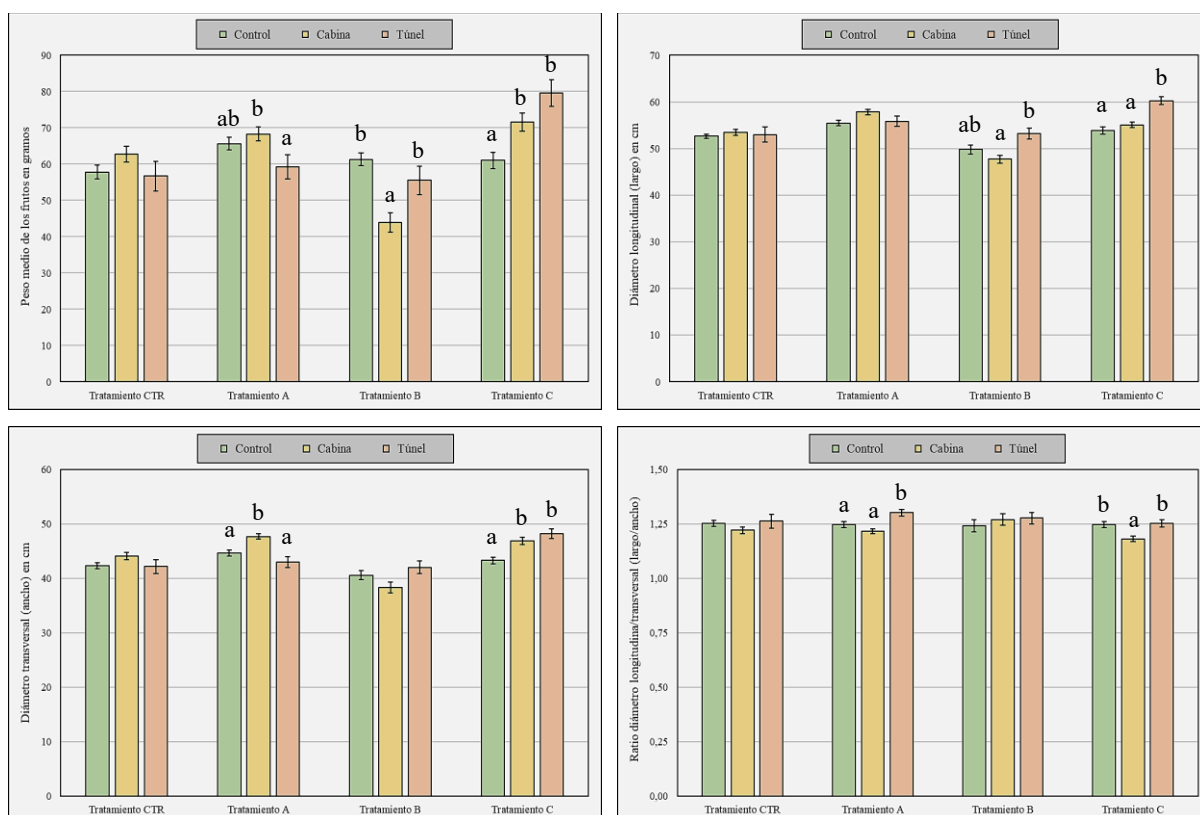


Figura 25. Efectos de los ambientes de ola de calor sobre el peso medio unitario, ancho, largo y ratio largo/ancho (de arriba a abajo, izquierda a derecha) por tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ )

El peso unitario de los frutos disminuyó en el ambiente bajo túnel respecto al control, tanto en el tratamiento CTR como A, aumentando en cabina. Peterson y Taber (1991) propusieron una explicación para este fenómeno al reportar que la madurez se acelera con la temperatura pero a partir de un máximo, que parecen haber superado las condiciones bajo túnel pero no las de cabina. Por otra lado, Papadopoulus y Hao (2001) concluyeron que la temperatura nocturna va a ser el factor ambiental que más afecta al fruto, lo que también concuerda con los resultados obtenidos, pues durante la noche se generaron unas mayores condiciones de calor bajo el túnel.

El tamaño de los frutos se midió con la longitud transversal y longitudinal, y la forma por cociente entre ellas. En el tratamiento CTR no se obtuvieron diferencias significativas respecto a estos parámetros, pero en el resto de tratamientos sí [Figura 25]. En A, bajo los efectos de la aplicación de Dynamizer, los frutos más grandes crecieron en cabina. No obstante, en B y C, los tratamientos donde existió un mayor aporte de agua, los frutos de mayor tamaño se hallaron bajo el túnel. Por otro lado, en A los tomates bajo túnel fueron más alargados. En C fueron más achatados bajo cabina. Al comparar tratamientos entre sí [Tabla 8], en ambiente control y cabina los frutos más pequeños se recogieron en B, seguidos de los de CTR, C y A. Al igual que con el peso, el tamaño de los tomates sometidos a aspersión en túnel fue mayor que los del A, CTR y B. Bajo la cabina, los frutos en el B fueron significativamente más achatados que los del resto.

Tabla 8. Efectos de los distintos tratamientos sobre características físicas de los frutos como el peso unitario; el diámetro longitudinal (largo); el diámetro transversal (ancho), o el ratio DL/DT (largo/ancho) para cada ambiente de ola de calor. Los datos aparecen expresados con la media  $\pm$  el error típico de cada muestra.

		Peso de los frutos (g)	Diámetro longitudinal (cm)	Diámetro transversal (cm)	Ratio DL/DT [Largo/Ancho]
Control	Tratamiento CTR	57,8 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	52,6 $\pm$ 0,5 <sup>b</sup>	42,3 $\pm$ 0,6 <sup>ab</sup>	1,25 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	65,6 $\pm$ 1,8 <sup>b</sup>	55,5 $\pm$ 0,6 <sup>c</sup>	44,6 $\pm$ 0,6 <sup>b</sup>	1,25 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	61,3 $\pm$ 1,8 <sup>ab</sup>	49,8 $\pm$ 1,0 <sup>a</sup>	40,6 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	1,24 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	61,1 $\pm$ 2,3 <sup>ab</sup>	53,9 $\pm$ 0,8 <sup>bc</sup>	43,3 $\pm$ 0,6 <sup>b</sup>	1,25 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
Cabina	Tratamiento CTR	62,7 $\pm$ 2,2 <sup>b</sup>	53,4 $\pm$ 0,6 <sup>b</sup>	44,0 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>	1,22 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>
	Tratamiento A	68,3 $\pm$ 1,9 <sup>bc</sup>	57,8 $\pm$ 0,6 <sup>c</sup>	47,7 $\pm$ 0,5 <sup>c</sup>	1,22 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>
	Tratamiento B	43,9 $\pm$ 2,7 <sup>a</sup>	47,7 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>	38,3 $\pm$ 1,0 <sup>a</sup>	1,27 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
	Tratamiento C	71,6 $\pm$ 2,5 <sup>c</sup>	55,1 $\pm$ 0,6 <sup>b</sup>	46,9 $\pm$ 0,6 <sup>c</sup>	1,18 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
Túnel	Tratamiento CTR	56,7 $\pm$ 4,1 <sup>a</sup>	53,0 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup>	42,2 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	1,26 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	59,2 $\pm$ 3,3 <sup>a</sup>	55,9 $\pm$ 1,1 <sup>ab</sup>	43,0 $\pm$ 1,0 <sup>a</sup>	1,30 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	55,5 $\pm$ 3,9 <sup>a</sup>	53,2 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	42,0 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	1,28 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	79,6 $\pm$ 3,7 <sup>b</sup>	60,2 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	48,2 $\pm$ 0,9 <sup>b</sup>	1,25 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos del mismo ambiente. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). CTR, control; A, riego con Dynamizer; B, doble riego, y C, aspersión.

En cuanto a las medidas de pH, entre ambientes [Figura 26] se reflejó una clara elevación de la acidez según aumentaron las temperaturas en todos los tratamientos, situándose entorno 4 y 4,5. Entre tratamientos [Tabla 9], de forma general, se observa en todos los ambientes que los valores de pH son mayores en CTR. Esto puede indicar un resultado positivo de las estrategias aplicadas de paliar los efectos que el calor tiene sobre la acidez, que aumenta con la temperatura.

No obstante, respecto a este efecto de la temperatura sobre el pH del fruto existe cierta controversia entre la bibliografía, proponiendo algunos autores que los incrementos de ácidos orgánicos en el fruto provocan una disminución en el pH (Lokesh et al., 2019; Shivashankara et al., 2021; Weerakkody, 2003), mientras que otros proponen lo contrario (Khanal, 2012; Wang y Camp, 2000). En 2005, Fleisher et al. midieron el pH de frutos de tomate que habían sufrido estrés térmico a temperaturas similares a las ensayadas bajo el túnel (31/26 °C), de 30/25 °C, reportando que, en fases finales de maduración, el pH aumenta significativamente con el calor.

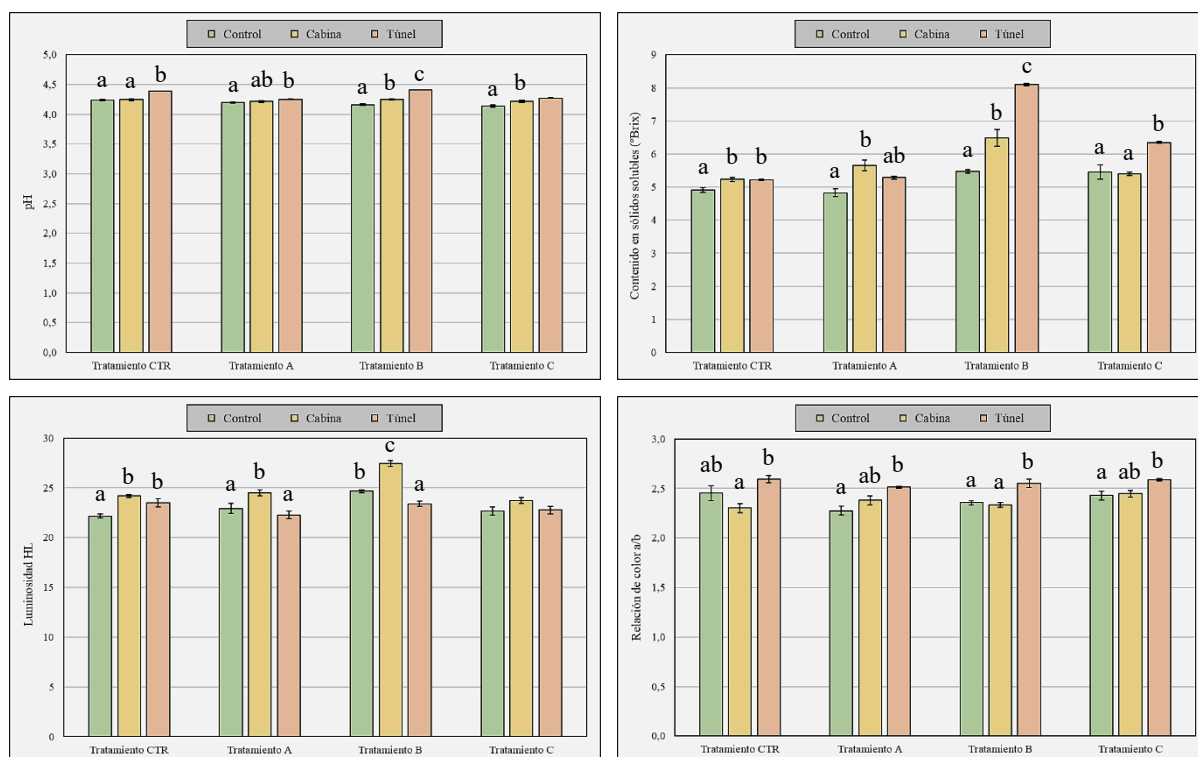


Figura 26. Efectos del ambiente sobre el pH, ° Brix y color (arriba a abajo, izquierda a derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).

El contenido en sólidos solubles aumentó con el calor en todos los tratamientos, siendo los grados Brix de los frutos bajo la cabina y túnel similares en CTR y A, y similares bajo cabina y ambiente control en el C [Figura 26]. Si se comparan los tratamientos entre sí [Tabla 9], es la aplicación de *Dynamizer* el método que mantiene este parámetro más cercano al control, siendo más alto en C y disparándose en B. Estos resultados concuerdan con los de muchos autores que

aseguran incrementos de sólidos solubles con la temperatura (Gunawardhana y De Silva, 2011; Vijayakumar et al., 2021). Si bien, también se reporta reducción del contenido en azúcares totales con el calor (Lokesha et al., 2019), parámetro con gran influencia en este aspecto (Laxman et al., 2013; Selahle et al., 2014). Esta aparente contradicción se ha intentado explicar vinculando el aumento de sólidos solubles al incremento en la cantidad de ácidos orgánicos (Shivashankara et al., 2015), pero eso supondría una reducción en el pH con el calor que no ha sido observada.

Tabla 9. Efectos de los distintos ambientes de ola de calor sobre el pH, ° Brix y parámetros de color en espacio CIELAB en cada tratamiento. Los datos aparecen expresados con la media  $\pm$  el error típico de cada muestra

		pH	° Brix	Parámetros de color en el espacio CIELAB			
				L	A	B	a/b
Control	Tratamiento CTR	4,24 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	4,92 $\pm$ 0,07 <sup>ab</sup>	22,2 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	26,8 $\pm$ 0,74 <sup>a</sup>	10,9 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>	2,45 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	4,20 $\pm$ 0,01 <sup>bc</sup>	4,82 $\pm$ 0,12 <sup>a</sup>	22,9 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>	25,8 $\pm$ 0,56 <sup>a</sup>	11,3 $\pm$ 0,21 <sup>a</sup>	2,28 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	4,16 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>	5,48 $\pm$ 0,05 <sup>c</sup>	24,7 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	28,9 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	12,3 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	2,36 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	4,14 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	5,46 $\pm$ 0,22 <sup>bc</sup>	22,7 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>	27,0 $\pm$ 0,26 <sup>ab</sup>	11,2 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup>	2,43 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
Cabina	Tratamiento CTR	4,24 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,23 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	24,2 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	27,6 $\pm$ 0,50 <sup>a</sup>	12,0 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	2,30 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	4,22 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5,65 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	24,5 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	28,7 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	12,1 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	2,38 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	4,25 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	6,49 $\pm$ 0,26 <sup>b</sup>	27,5 $\pm$ 0,3 <sup>b</sup>	32,0 $\pm$ 0,33 <sup>b</sup>	13,7 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	2,34 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	4,22 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	5,40 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	23,7 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	28,9 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>	11,8 $\pm$ 0,21 <sup>b</sup>	2,45 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
Túnel	Tratamiento CTR	4,39 $\pm$ 0,00 <sup>c</sup>	5,22 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	23,5 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>	30,9 $\pm$ 0,20 <sup>b</sup>	11,9 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>	2,59 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>
	Tratamiento A	4,25 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	5,28 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	22,3 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>	28,0 $\pm$ 0,53 <sup>a</sup>	11,1 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	2,51 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
	Tratamiento B	4,41 $\pm$ 0,00 <sup>d</sup>	8,10 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	23,4 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	30,4 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	11,9 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	2,55 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>
	Tratamiento C	4,27 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>	6,35 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	22,8 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>	29,9 $\pm$ 0,34 <sup>b</sup>	11,6 $\pm$ 0,19 <sup>ab</sup>	2,59 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos del mismo ambiente. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). CTR, control; A, riego con Dynamizer; B, doble riego, y C, aspersión.

En general, la predominancia del color rojo sobre el amarillo (a/b) parece relacionarse con los aumentos de temperatura. Respecto al color entre ambientes [Figura 26], se encontraron tomates más rojos en el túnel con diferencias significativas en todos los tratamientos salvo el B, que fue el que recibió una dosis extra de riego durante la ola de calor. Así, este retraso en la maduración puede ser debido al exceso de agua aplicada. Si se realiza la comparación entre los tratamientos [Tabla 9], frutos significativamente más rojos fueron recogidos en el tratamiento A bajo condiciones de control y cabina. En túnel lo más rojos estuvieron en B, y los menos en A.

Durante la maduración, la coloración del fruto se modificará a medida que disminuya el contenido en clorofila y se acumule licopeno (Pinheiro et al., 2013; Lahoz et al., 2013), principal pigmento responsable de la coloración roja del tomate maduro (Shi y Le Maguer., 2000). Bajo condiciones de alta temperatura, la cantidad de licopeno en los tomates disminuye (Vijayakumar

y Beena, 2020), llegándose a inhibir completamente su síntesis por encima de 32 °C (Grierson y Kader, 1986; Farkas, 1994). Esto provocará una menor coloración roja de los frutos, como ya reportaron Rodríguez-Ortega et al. en 2017 en ambientes de 32 °C. No obstante, los resultados expuestos en este trabajo están más cerca de los de Mesa et al. (2022), que no halló diferencias en el contenido de licopeno entre tomates sometidos al calor y no, y Fleisher et al. (2006), que observó aumentos significativos en el color rojo con el calor (30/25 °C frente a 23/18 °C). Para la disparidad entre autores, puede buscarse una causa en las temperaturas de experimentación que, en el caso de Rodríguez-Ortega et al. y Mesa et al. llegaron a los 32 °C (más altas en los primeros), posiblemente inhibiéndose la síntesis de licopeno en los tomates, situación que no consiguieron las temperaturas alcanzadas por Mesa et al., Fleisher et al. o este estudio (31/26 °C).

Para terminar el estudio de los efectos sobre la calidad, se presentarán los resultados del recuento de semillas por fruto [Figura 27]. No se encontraron diferencias significativas entre los ambientes, pero en las plantas tratadas con “*Dynamizer*” se puede observar una disminución con el calor (del 23 % en la cabina y del 64 % en el túnel). Tampoco se encontraron entre tratamientos, pero se aprecia una leve mejora en las medias de los ambientes de alta temperatura con aspersión.

Peet et al. (1998) obtuvieron resultados similares al cultivar plantas de tomate a distintos regímenes de temperatura de 30/24 °C y 32/26 °C durante la floración, disminuyendo en todos el número de semillas por el calor, a veces hasta el 16,4 % comparado con el control (a 25 °C). En casos de condiciones de estrés térmico más acuciadas, a 38/27 °C, El Ahmadi y Stevens (1979) también reportarían unos efectos semejantes, así como Comlekcioglu y Soyly (2010) a 37/27 °C.

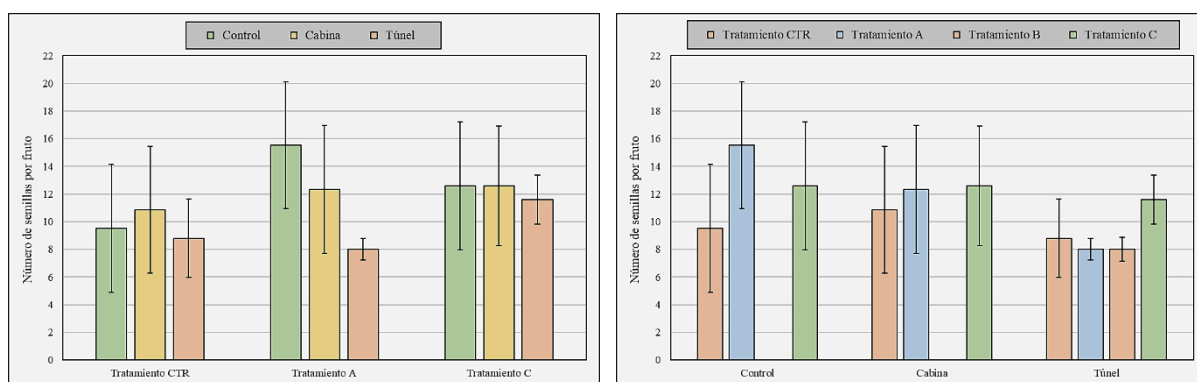


Figura 27. Efecto del ambiente sobre el número de semillas en cada tratamiento y viceversa. Letras diferentes indican diferencias significativas. ANOVA y Test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ )

Para este parámetro también se han encontrado relevantes correlaciones positivas tanto con el diámetro del frutos (Soyly y Comlekcioglu, 2009), como su peso (Dempsey, 1965; Varga y Bruinsma, 1976; Sawhney y Dabbs, 1978; El Ahmadi y Stevens, 1979), que podrían estudiarse.

En 1979, El Ahmadi y Stevens vieron que el desarrollo del gineceo afecta en más medida que el androceo al desarrollo de semillas en condiciones de estrés térmico. Esto quiere decir que, aunque la también estudiada reducción de viabilidad y número de granos de polen influye en la polinización y fecundación, es superior el efecto de las diferencias estructurales y morfológicas encontradas anteriormente entre las fotografías de ovarios. Así, podría ser interesante en futuros ensayos comprobar el grado de influencia del menor número de óvulos observados en las flores sometidas a estrés en la inferior cantidad de semillas manifestada por sus frutos posteriormente.

Por otro lado, en relación con la fecundación y el número de semillas, Sato et al. (2000) reportaron que el estrés térmico favorecía la creación de frutos partenocárpicos, debido a la pobre fertilización de las flores y alto porcentaje de abortos (Barringer et al., 1981), señalándolo como factor clave en la determinación de tolerancias a las altas temperaturas. En el presente ensayo, el tamaño de las muestras para el conteo de las semillas no sería suficiente para calcular una media representativa de frutos partenocárpicos en los distintos ambientes y tratamientos. No obstante, se puede indicar ausencia/presencia del fenómeno entre los individuos muestreados [Figura 28], encontrándose solo en ambientes de ola de calor, y ninguno en control. Este resultado es similar al reportado por Comlekcioglu y Soyly (2010), que solo observaron partenogénesis a 37/27 °C.

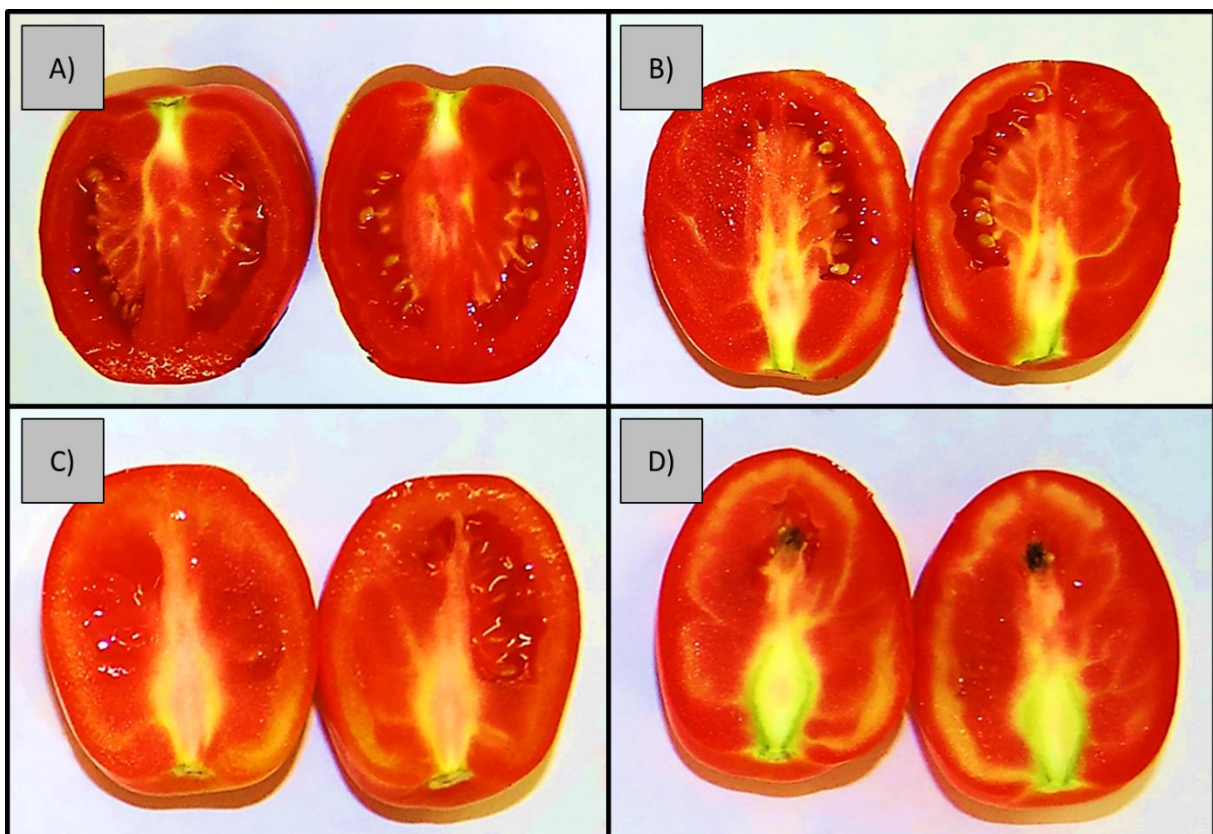


Figura 28. Cortes longitudinales de los frutos maduros después de la cosecha procedentes del ambiente control (A), bajo la cabina (B y C) y bajo el túnel (D) del tratamiento CTR.

## **6. ESTUDIO ECONÓMICO**

## ESTUDIO ECONÓMICO

Para concluir el estudio del efecto de las olas de calor, se analiza cómo podría llegar a afectar el aumento de temperatura ensayado a un cultivo real desde el punto de vista económico.

Se ha ideado una situación hipotética, la compra de una parcela por 35.000 €/ha (año 0), en la que el primer año (año 1), se proyecta y lleva a cabo la instalación de un sistema de riego por goteo automatizado, a un precio de 4.577,80 €/ha. Así, partiendo de estas inversiones se van a suponer unos costes ordinarios de 7.858,12 €/ha (mano de obra, maquinaria, labores, insumos, tratamientos, seguros, seguridad social, impuestos, interés del capital circulante...) y unos costes extraordinarios de renovación de maquinaria de 2.417,30 €/ha en el año 10. Con ello, solo queda establecer los beneficios. Los beneficios ordinarios serán resultado de multiplicar la producción en kg/ha por el precio del kilogramo de tomate de industria que, en base a *Informes Semanales de Coyuntura* (MAPA, 2023) y noticias del sector, se ha fijado en 0,155 €/kg. Por su parte, los beneficios extraordinarios por ayudas y subvenciones (pago básico, pago verde, pago acoplado y ayuda de producción integrada) se han concretado en 1.166,60€/ha que se recibirán anualmente.

De esta situación inicial surge la primera hipótesis, donde cada año se produce lo mismo que en el ensayo se obtuvo de rendimiento en el ambiente control, tratamiento CTR [Tabla 10].

Año	Ben. ordinarios	Ben. extra.	Pagos ordinarios	Pagos extra.	Flujo de caja
1	0 €/ha	0 €/ha	0 €/ha	35.000 €/ha	-35.000 €/ha
2	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	4.578 €/ha	1.303 €/ha
4	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
5	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
6	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
7	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
8	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
9	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
10	13.739 €/ha	153 €/ha	7.858 €/ha	2.417 €/ha	3.616 €/ha
11	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
12	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
13	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
14	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
15	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
16	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
17	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
18	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
19	13.739 €/ha	0 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	5.881 €/ha
20	13.739 €/ha	153 €/ha	7.858 €/ha	0 €/ha	6.033 €/ha

Tabla 10. Flujos de caja de la hipótesis base para el estudio económico (Control, Tratamiento CTR)



El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto en esas condiciones sería de 37.556€/ha si se supone una tasa de actualización del 4% (media del año 2023 según *Rentabilidad de Obligaciones del Estado a 30 años*). La relación Beneficio/Inversión (B/I) sería de 0,95, el TIR (Tasa Interna de Retorno), del 13,70%, y el Plazo de Recuperación (Pay - Back), de 7 años. Con esta base, ya se puede estimar el impacto económico de una ola de calor en uno o varios años del ciclo de la explotación [Tabla 11], siendo los resultados económicamente fatales, más aún el primer año.

		VAN	B/I	TIR	Pay - Back	r
Ola de calor primer año	Cabina	36.966 €/ha	0,93	13,45 %	7 años	4%
	Túnel	26.930 €/ha	0,68	9,88 %	9 años	4%
Ola de calor segundo año	Cabina	35.952 €/ha	0,91	13,08 %	8 años	4%
	Túnel	26.302 €/ha	0,66	9,87 %	9 años	4%
Ola de calor tercer año	Cabina	36.014 €/ha	0,91	13,15 %	8 años	4%
	Túnel	26.735 €/ha	0,68	10,18 %	9 años	4%

Tabla 11. Ratios económicos para distintos supuestos de ola de calor el primer, segundo y tercer año.

Para estudiar las diferencias entre tratamientos, se comparan los costes y beneficios en un solo año de ola de calor. Se han utilizado solo resultados de producciones bajo túnel, pues bajo cabina resultaron menores al control. En el tratamiento A, el precio comercial de *Dynamizer* en las dosis aplicadas (dos de 5L/ha a 35€/L) es el único gasto adicional. En el tratamiento B, si se considerase que el riego extra se realiza a través de otra instalación de goteo, como en el caso del ensayo, su precio podría estimarse en 1.100€/ha según los costes máximos de referencia de la primera tabla del Anexo I de la *Resolución del 9 de mayo de 2023* (DOE). En el tratamiento C, según este mismo documento, la instalación del sistema de riego por aspersión necesaria podría tasarse en 2.100€/ha. En cuanto al agua, su coste no es perceptible al pagarse en una cuota fija.

		CT (€/ha)	VP (kg/ha)	DP (kg/ha)	BT (€/ha)	BA (€/ha)
Túnel	Tratamiento CTR	0	6.961	0	0	0
	Tratamiento A	350	43.278	36.317	5.629	5.279
	Tratamiento B	1.100	14.172	7.211	1.118	18
	Tratamiento C	2.100	29.311	22.350	3.464	1.364

Tabla 12. Balances económicos de cada tratamiento por ambiente. Leyenda: CT, coste de tratamiento; VP, volumen medio de producción de fruto rojo; DP, diferencia de producción con el tratamiento CTR; BT, beneficio con el tratamiento respecto al CTR; BA, beneficio absoluto respecto al tratamiento CTR

Así pues, considerando los resultados del análisis [Tabla 12], entre todos los tratamientos la aplicación de *Dynamizer* se postulará como la más rentable de las ensayadas contra el calor.

## **7. CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

1º.- Las estructuras utilizadas son capaces de reproducir las condiciones de ola de calor. No obstante, en futuros ensayos es aconsejable un incremento aún mayor de las condiciones de calor a fin de poder observar todas las consecuencias del estrés reportadas por la bibliografía.

2º.- Condiciones ambientales de 31/26 °C durante la polinización y cuajado de las plantas de tomate de industria dificultan la fecundación, provocan retrasos en el desarrollo, inhiben la formación de polen e incluso ocasionan la muerte de flores e inflorescencias. Duplicar las dosis de riego ha sido la única de las estrategia ensayadas que ha conseguido reducir estas alteraciones

3º.- Las estructuras del ovario se afectan por el calor, disminuyendo el número de óvulos engendrados y aumentando la partenocarpia, sin repercusiones en el número medio de semillas.

4º.- Las temperaturas experimentadas no afectan el crecimiento vegetativo de las plantas.

5º.- La producción de frutos ha sido inversamente proporcional a la temperatura en los tres ambientes recreados, acelerándose además la maduración de los tomates tras sufrir la ola de calor de tres semanas a 31/21 °C y ralentizándose tras el estrés térmico de dos semanas a 31/26 °C.

6º.- En las condiciones experimentales, el calor causa una reducción y alcalinización del fruto en recolección, que presenta un mayor contenido en sólidos solubles y colores más rojos.

7º.- La merma de producción por aumento de temperatura lastra el beneficio económico de la explotación en gran medida, siendo mayor este efecto cuanto mayor fue su intensidad. En estos casos extremos, aplicar *Dynamizer* en el suelo, el doble riego por goteo o la aspersión de refrigeración han resultado ser eficientes estrategias para reducir los efectos de una ola de calor.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, A. A., y Verkerk, K. (1970). Growth, flowering and fruiting in tomatoes in relation to temperature, cycocel and GA. *Netherlands J. of Agricultural Science*, 18 (2), 105 - 110.
- Acero, F. J.; Fernández - Fernández, M. I.; Carrasco, V. M. S.; Parey, S.; Hoang, T. T. H.; Dacunha - Castelle, D., y García, J. A. (2018). Changes in heat wave characteristics over Extremadura (SW Spain). *Theoretical and Applied Climatology*, 133, 605 - 617.
- Adams, S. R.; Cockshull, K. E., y Cave, C. R. J. (2001). Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany*, 88 (5), 869 - 877.
- Akhtar, S.; Ansary, S.; Dutta, A.; Karak, C., y Hazra, P. (2012). Crucial reproductive characters as screening indices for tomato (*Solanum lycopersicum*) under high temperature stress. *Journal of Crop and Weed*, 8, 114 - 117.
- Albert, B. (1822). *Manuel Complet d'Economie Domestique*. Second Edition. Paris, 1, 822.
- Alexander, M. (1980). A versatile stain for pollen fungi, yeast and bacteria. *ST*, 55 (1), 13 - 18.
- Al - Quran, S. (2004). Pollen morphology of *Solanaceae* in Jordan. *The Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7 (9), 1586 - 1593.
- Alsamir, M.; Mahmood, T.; Trethowan, R., y Ahmad, N. (2021). An overview of heat stress in tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Saudi J. of Biological Sciences*, 28 (3), 1654 - 1663.
- Anguillara, L. (1561). *Semplici dell'eccellente M. Luigi Anguillara: liquali in piu pareri à diversi nobili huomini scritti appaiono et nuovamente da M. Giovanni Marinello mandati in luce*. In *Vinegia: appresso Vincenzo Valgrisi*.
- Aronson, E. L., y McNulty, S. G. (2009). Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *A. and F. Meteorology*, 149 (11), 1791 - 1799.
- Arthanari, M., y Dhanapalan, S. (2019). A survey of the tomato blossom and flower drop to the influence of in an environmental phenomenon (*Solanum lycopersicum L.*). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 3 (1), 12 - 15.
- Ashfaq, S.; Ahmad, M.; Zafar, M.; Sultana, S.; Bahadur, S.; Ahmed, S. N.; Gul, S, y Nazish, M. (2020). Pollen morphology of family *Solanaceae* and its taxonomic significance. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92.

- Ávila, J., y Ruales, J. (2016). Influencia del estrés luminoso e hídrico en la postcosecha, propiedades físico - químicas y estimación de la capacidad antioxidante del tomate de árbol genotipo gigante amarillo. *R. I. de Tecnología Postcosecha*, 17 (1), 30 - 40.
- Barringer, R. K.; Lazarte, J. E., y Leeper, P. W. (1981). High - temperature fruit - set of tomatoes. *HortScience*, 16, 289 - 289.
- Bauchet, G., y Causse, M. (2012). Genetic diversity in tomato (*Solanum lycopersicum*) and its wild relatives. *Genetic diversity in plants*, 8, 134 - 162.
- Baudoin, A. (2017). Manual técnico de producción de tomate con enfoque de buenas prácticas agrícolas (N.º CIDAB - SB349 - B3m). Del ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia. Dirección General de Producción Agropecuaria y Soberanía Alimentaria.
- Berghage, R. (1998). Controlling height with temperature. *HortTechnology*, 8 (4), 535 - 539.
- Bergougnoux, V. (2014). History of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology advances*, 32 (1), 170 - 189.
- Bhadula, S. K., y Sawhney, V. K. (1989). Amylolytic activity and carbohydrate levels during the stamen ontogeny of a male fertile, and a 'gibberellin - sensitive male sterile mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Experimental Botany*, 40 (7), 789 - 794.
- Bitá, C. E., y Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress - tolerant crops. *Frontiers in plant science*, 4, 273.
- Buchmann, S. L. (1985). Bees use vibration to aid pollen collection from non-poricidal flowers. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 517 - 525.
- Burd, M.; Ashman, T. L.; Campbell, D. R.; Dudash, M. R.; Johnston, M. O.; Knight, T.M.; Mazer, S.J.; Mitchell, R.J.; Steets, J.A., y Vamosi, J. C. (2009). Ovule number per flower in a world of unpredictable pollination. *American Journal of Botany*, 96(6), 1159-1167.
- Butelli, E.; Bulling, K.; Hill, L., y Martin, C. (2021). Beyond the purple tomatoes: combined strategies targeting anthocyanins to generate crimson, magenta, and indigo on the fruits. *Horticulturae*, 7 (9), 327.
- Camejo, D., Rodríguez, P., Morales, M. A., Dell'Amico, J. M., Torrecillas, A., y Alarcón, J. J. (2005). High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *Journal of Plant Physiology*, 162 (3), 281 - 289.

- Campillo, C.; González, J. Á.; Fortes, R.; Millán, S.; González, V.; Chávez, Á.; Daza, C. y Prieto, M. H. (2015). Manual práctico de riego del tomate de industria (CICYTEX).
- Comlekcioglu, N., y Soyly, M. K. (2010). Determination of high temperature tolerance via screening of flower and fruit formation in tomato. *YJAS*, 20 (2), 123 - 130.
- Contreras - Magaña, E.; Arroyo - Pozos, H.; Ayala - Arreola, J.; Sánchez Del Castillo, F., y Moreno - Pérez, E. D. C. (2013). Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *R. Chapingo. Serie Horticultura*, 19 (4), 59 - 70.
- DeCandolle, A. (1959). *Origin of cultivated plants* (Reprint of the second edition, 1886). Hafner Publishing Co., New York.
- Dell' Amico, J. M.; Torrecillas, A.; Rodríguez, P.; Morales, D., y Sánchez - Blanco, M. (2002). Respuesta del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) a 36 horas de inundación en dos momentos del fotoperíodo. *Cultivos Tropicales*, 23 (3), 77 - 83.
- Dempsey, W. H. (1965). Effect of seed number on tomato fruit size and maturity. In *Proc. Amer. International Society for Horticultural Science* (Vol. 86, pp. 575 - 581).
- Deribe, H.; Beyene, B., y Beyene, B. (2016). Review on pre- and post-harvest management on quality tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) production. *Food Science and Quality Management*, 54, 72 - 79.
- Dieleman, J. A., y Heuvelink, E. (1992). Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. *Journal of Horticultural Science*, 67 (1), 1 - 10.
- Dodoens, R. (1553). *De stirpium historia commentariorum imagines ad vivum expressae*.
- Dorais, M., Ehret, D. L., y Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7, 231 - 250.
- Easterling, D. R.; Meehl, G. A.; Parmesan, C.; Changnon, S.; Karl, T., y Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts science, 289 (5487), 2068 - 2074.
- El Ahmadi, A. B., y Stevens, M. A. (1979). Reproductive responses of heat tolerant tomatoes to high temperatures. *J. of American Society for Horticultural Science*, 104 (5), 686 - 691.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible a través del siguiente enlace: <https://www.fao.org/> (consultado en agosto de 2023).
- Farkas, J. (1994). *Manual de los productores de hortalizas*, Editorial Mezögazda, Budapest.

- Feller, C.; Bleiholder H.; Buhr L.; Hack H.; Hess M.; Klose R.; Meier U.; Stauss R.; Van Den Boom T., y Webber E. (1995). Phänologische Entwicklungsstadien Gemüsepflanzen, II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 47, 217 - 232.
- Fiasson, J. (1982). R. Heller. Physiologie végétale. Tome II. Développement. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 51 (8), 245 - 245.
- Filippo, R. (1811). L'Ortolano.
- Firon, N.; Shaked, R.; Peet, M.; Pharr, D. M.; Zamski, E.; Rosenfeld, K.; Zamski, A.; Pressman, E. (2006). Pollen grains of heat tolerant tomato cultivars retain a higher carbohydrate concentration under heat stress conditions. Scientia Horticulturae, 109 (3), 212 - 217.
- Fleisher, H. D.; Logendra, S. L.; Moraru, C.; Both, A. J.; Cavazzoni, J.; Gianfagna, T., Lee, T.C. y Janes, W. H. (2006). Effect of temperature perturbations on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) quality and production scheduling. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81 (1), 125 - 131.
- Gary, C.; Baldet, P.; Bertin, N.; Devaux, C.; Tchamitchian, M., y Raymond, P. (2003). Time - course of tomato whole - plant respiration and fruit and stem growth during prolonged darkness in relation to carbohydrate reserves. Annals of Botany, 91 (4), 429 - 438.
- Geange, S. R.; Arnold, P. A.; Catling, A. A.; Coast, O.; Cook, A. M.; Gowland, K. M.; Leigh, A.; Notarnicola, R.F.; Posch, B.C.; Venn, S.E.; Zhu, L., y Nicotra, A. B. (2021). The thermal tolerance of photosynthetic tissues: A global systematic review and agenda for future research. New Phytologist, 229, 2497 - 2513.
- Gesner, C. (1561). In hoc volumine continentur, De hortus Germaniae.
- Gierson, D., y Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. In The Tomato Crop: A scientific basis for improvement (pp. 241 - 280). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Gil, M. Á. (2015). Reseña bibliográfica. Resistencia a insectos en el tomate (*Solanum spp.*). Cultivos Tropicales, Vol. 36, N°2, pp. 100 - 110.
- Giri, A. (2013). Effect of acute heat stress on nutrient uptake by plant roots. Toledo University.
- Golam, F.; Prodhan, Z. H.; Nezhadahmadi, A., y Rahman, M. (2012). Heat tolerance in tomato. Life Science Journal, 9 (4), 1936 - 1950.



- Gragera, J.; Gutiérrez, J. M.; Daza, C.; Esteban, C., y González, J.A. (2009). Evaluación de parámetros productivos y de calidad en cultivares de tomate de industria con alto contenido en licopeno en Extremadura. *Actas de Horticultura*, 54, 256 - 257.
- Gualazzi, R. J. V. (1997). "*Lycopersicum esculentum*": una breve historia del tomate. *Alquibla. Revista de investigación del Bajo Segura*, (3), 105 - 111.
- Guichard, S.; Bertin, N.; Leonardi, C., y Gary, C. (2001). Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*, 21 (4), 385 - 392.
- Guiu, A.; Heckathorn, S.; Mishra, S., y Krause, C. (2017). Heat stress decreases levels of nutrient - uptake and assimilation proteins in tomato roots. *Plants*, 6 (1), 6.
- Gunawardhana, M. D. M., y De Silva, C. S. (2011). Impact of temperature and water stress on growth yield and related biochemical parameters of okra.
- Guzmán, A.; Corradini, F.; Martínez, J. P.; Allende, M.; Abarca, P.; Felmer, S.; Antuñez, A.; Riquelme, J.; Salinas, L.; Olivares, N.; Sepúlveda, P., y Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate al aire libre. *Boletín del Instituto de Inv. Agropecuarias (INIA)*, N°376.
- Haifa Chemicals (2014). Recomendaciones nutricionales para el tomate en campo abierto, acolchado/túnel e invernadero. Miami, Estados Unidos de América.
- Hassan, M. U.; Chattha, M. U.; Khan, I.; Chattha, M. B.; Barbanti, L.; Aamer, M.; Iqbal, M.; Nawaz, M.; Mahmood, A.; Ali, A., y Aslam, M. (2021). Heat stress in cultivated plants: Nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies. A review. *Plant Biosystems: An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 155 (2), 211 - 234.
- Heinicke, S.; Frieler, K.; Jägermeyr, J., y Mengel, M. (2022). Global gridded crop models underestimate yield responses to droughts and heatwaves. *E. R. Letters*, 17 (4), 044026
- Heuvelink, E. (1989). Influence of day and night temperature on the growth of young tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 38 (1 - 2), 11 - 22.
- Hungria, M., y Kaschuk, G. (2014). Regulation of N<sub>2</sub> fixation and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> assimilation in nodulated and N - fertilized *Phaseolus vulgaris* L. exposed to high temperature stress. *Environmental and Experimental Botany*, 98, 32 - 39.
- Inaba, M., y Chachin, K. (1988). Influence of and recovery from high-temperature stress on harvested mature green tomatoes. *HortScience*, 23 (1), 190 - 192.
- IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.

- Iwahori, S. (1965). High temperature injuries in tomato IV. Development of normal flower buds and morphological abnormalities of flower buds treated with high temperature. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 34 (1), 33 - 41.
- Iwahori, S. (1966). High temperature injuries in tomato V. Fertilization and development of embryo with special reference to the abnormalities caused by high temperature. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 35 (4), 379 - 386.
- Jagadish, S. K.; Way, D. A., y Sharkey, T. D. (2021). Plant heat stress: Concepts directing future research. *Plant, Cell and Environment*, 44 (7), 1992 - 2005.
- Jaramillo, J.; Rodríguez, V. P.; Guzmán, M.; Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. CTP Print Ltda.
- Jenkins, J. A. (1948). The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany*, 2, 379 - 392.
- Jentsch, A.; Kreyling, J., y Beierkuhnlein, C. (2007). A new generation for the climate - change experiments: Events, not trends. *Frontiers in Ecology and Environment*, 5, 365 - 374.
- Juan - Cabot, A.; Galmés, J., y Conesa, M. A. (2022). Tomato long shelf - life fruit phenotype: knowledge, uncertainties, and prospects. *Scientia Horticulturae*, 291, 110578.
- Khanal, B. (2012). Effect of day and night temperature on pollen characteristics, fruit quality and storability of tomato. Thesis. Norwegian Institute of Life sciences, Norway, 46p.
- Knapp, S. (2002). *Solanum section Geminata (Solanaceae)*. *Flora Neotropica*, 1 - 404.
- Lahoz, E.; Carrieri, R.; Crescenzi, A., y Fanigliulo, A. (2013). Viral and fungal diseases of processing and fresh tomato in the Mediterranean basin. In IV International Symposium on Tomato Diseases 1069 (pp. 99 - 105).
- Laxman, R. H.; Srinivasa, R. N. K.; Bhatt, R. M.; Sadashiva, A. T.; Sunoj, V. J.; Geeta, B.; Pavithra, C.B.; Manasa, K.M. y Dhanyalakshmi, K. H. (2013). Response of the tomato genotypes (*Lycopersicon esculentum Mill.*) to elevated temperature. *J. A.*, 15, 38 - 44.
- Lesk, C.; Rowhani, P., y Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84 - 87
- Levy, A.; Rabinowitch, H. D., y Kedar, N. (1978). Morphological and physiological characters affect flower drop and fruit set of tomato at high temperatures. *Euphytica*, 27, 211 - 218.
- Lewis, D. (1953). Some factors affecting flower production in tomato. *Journal of Horticultural Science*, 28 (3), 207 - 220.

- Linnaeus, C. (1799). *Species plantarum*. Volumen 3. Impensis GC Nauk.
- Liu, Z.; Jiao, X.; Zhu, C.; Katul, G. G.; Ma, J., y Guo, W. (2021). Micro - climatic and crop responses to micro - sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*, 243, 106498.
- L 'Obel, M. D. (1576). *Plantarum; seu Stirpium historia*. Christophori Plantini Architypographi.
- Lohar, D. P., y Peat, W. E. (1998). Floral characteristics of heat - tolerant and heat - sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) cultivars at high temperature. *SH*, 73, 53 - 60.
- Lokesha, A. N.; Shivashankara, K. S.; Laxman, R. H.; Geetha, G. A., y Shankar, A. G. (2019). Effect of high temperature on fruit quality parameters of contrasting tomato genotypes.
- Lorenzo, N.; Díaz - Poso, A., y Royé, D. (2021). Heatwave intensity on the Iberian Peninsula: Future climate projections. *Atmospheric Research*, 258, 105655.
- Loudon, J. C. (1822). *An Encyclopaedia of Gardening*. London, 1882.
- Macua, J. I.; Lahoz, I.; Garnica, J.; Calvillo S.; Zúñiga J., y Santos, A. (2003). El tomate de industria. *Navarra Agraria, Pamplona*, 136, 13 - 22.
- Mao, L.; Begum, D.; Chuang, H.; Budiman M.; Szymkowiak, E.; Irish E., y Wing R. (2000). Jointless is a MADS - box gene controlling tomato flower abscission zone development. *Nature* N° 406, 910 - 913.
- MAPA (2023). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible a través del siguiente enlace: <https://www.mapa.gob.es/> (consultado en agosto de 2023).
- Maroto Borrego, J. V. (2008). *Elementos de horticultura general*. Ediciones Mundi - Prensa.
- Matthiolus, P.A. (1554). *Commentarii, in libros sex Pedacii Dioscoridis Anazarbei, de medica materia*. Venetiis: ex Officina Valgrisiana.
- McCue, G. A. (1952). The history of the use of the tomato: an annotated bibliography. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 39 (4), 289 - 348.
- Meier, U.; Bleiholder, H.; Buhr, L.; Feller, C.; Hack, H.; Heß, M.; Lancashire P.; Schnock U.; Stauß R.; Van Den Boom T.; Weber, E, y Zwerger, P. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants. *J. Für Kulturpflanzen*, 61 (2), 41 - 52.
- Mesa, T.; Polo, J.; Arabia, A.; Caselles, V., y Munné Bosch, S. (2022). Differential physiological response to heat and cold stress of tomato plants and its implication on fruit quality. *Journal of Plant Physiology*, 268, 153581.

- Miller, G.; Beery, A.; Singh, P. K.; Wang, F.; Zelingher, R.; Motenko, E., y Lieberman - Lazarovich, M. (2021). Contrasting processing tomato cultivars unlink yield and pollen viability under heat stress. *Annals of Botany Plants*, 13 (4), plab 046
- Miller, P. (1754). *The Gardeners dictionary*. Abridged 4<sup>th</sup> ed. Jhon and James Rivington, London.
- Mitcham, E. J., y McDonald, R. E. (1992). Effect of high temperature on cell wall modifications associated with tomato fruit ripening. *Posth. Biology and Technology*, 1 (3), 257 - 264.
- Müller, F.; Xu, J.; Kristensen, L.; Wolters - Arts, M.; Groot, P. F.; Jansma, S. Y.; Mariani, C., y Rieu, I. (2016). High temperature induced defects in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) anther and pollen development are associated with reduced expression of B - class floral patterning genes. *PLoS One*, 11 (12), e0167614.
- Nuez, F. (1995). *El cultivo del tomate*. Editorial Mundi - Prensa. Madrid, España.
- Observatorio de Tomate de Industria. Disponible a través del siguiente enlace: <https://observatoriotomate.com/> (consultado en agosto de 2023).
- Ohtaka, K.; Yoshida, A.; Kakei, Y.; Fukui, K.; Kojima, M.; Takebayashi, Y.; Yano, K.; Imanishi, S., y Sakakibara, H. (2020). Difference between day and night temperatures affects stem elongation in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings via regulation of gibberellin and auxin synthesis. *Frontiers in Plant Science*, 11, 577235.
- Ozores-Hampton, M., y McAvoy, G. (2010). What causes blossom drop in tomato. *The Tomato Magazine*, 14 (4), 4 - 5.
- Pan, Q.; Lu, Y.; Hu, H., y Hu, Y. (2024). Review and research prospects on sprinkler irrigation frost protection for horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 326, 112775.
- Papadopoulos, A. P., y HAO, X. (2001). Effects of day and night air temperature in early season on growth, productivity and energy use of spring tomato. *Canadian Journal of Plant Science*, 81, 303 - 311.
- Park, B. M.; Jeong, H. B.; Yang, E. Y.; Kim, M. K.; Kim, J. W.; Chae, W.; Lee, O.J.; Kim, S.G., y Kim, S. (2023). Differential responses of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum*) to long - term heat stress. *Horticulturae*, 9 (3), 343.
- Paull, R. E., y Chen, N. J. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Post - harvest biology and technology*, 21(1), 21 - 37.

- Paupière, M. J.; Müller, F.; Li, H.; Rieu, I.; Tikunov, Y. M.; Visser, R. G., y Bovy, A. G. (2017). Untargeted metabolomic analysis of the tomato pollen development and his heat stress response. *Plant reproduction*, 30, 81 - 94.
- Pavan, S.; Van Heusden, A. W., y Bai, Y. (2009). *Solanum lycopersicum* (tomato). eLS.
- Peet, M. M.; Sato, S., y Gardner, R. G. (1998). Comparing heat stress effects on male-fertile and male - sterile tomatoes. *Plant, Cell and Environment*, 21 (2), 225 - 231.
- Peralta, I. E., y Spooner, D. (2006). History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). *Genetic improvement of solanaceous crops*, 2, 1 - 27.
- Perkins, S. E. (2015). A review on scientific understanding of heatwaves. Their measurement, driving mechanisms, and global scale changes. *Atmospheric Research*, 164, 242 - 267.
- Peterson, R. H., y Taber, H. G. (1991). Tomato flowering and early yield response to heat buildup under rowcovers. *J. of American Society for Horticultural Science*, 116 (2), 206 - 209.
- Pinheiro, J.; Alegria, C.; Abreu, M.; Gonçalves, E. M., y Silva, C. L. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum cv. Zinac*) during storage. *Journal of Food Engineering*, 114 (3), 338 - 345.
- Razifard, H.; Ramos, A.; Valle, A. L.; Bodary, C.; Goetz, E.; Manser, E. J.; Xiang, L; Zhang, L.; Visa, S.; Tieman, D.; Knapp, E., y Caicedo, A. L. (2020). Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. *Molecular, biology and evolution*, 37 (4), 1118 - 1132.
- Ro, S.; Chea, L.; Ngoun, S.; Stewart, Z. P.; Roern, S.; Theam, P.; Lim, S.; Sor, R.; Kosal, M.; Roern, M.; Dy, K.S., y Prasad, P. V. (2021). Response of tomato genotypes under different high temperatures in field and greenhouse conditions. *Plants*, 10 (3), 449.
- Rodríguez - Ortega, W. M., Martínez, V., Rivero, R. M., Cámara - Zapata, J. M., Mestre, T., y García - Sánchez, F. (2017). Use of a smart irrigation system to study the effects of irrigation management on the agronomic and physiological responses of tomato plants grown under different temperatures regimes. *AWM*, 183, 158 - 168.
- Ruzin, S. E. (1999). *Plant microtechnique and microscopy*, 198, p. 322. N.Y. Oxford Press.
- Sachs, R. M., y Hackett, W. P. (1969). Control of vegetative and reproductive development in Seed Plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 4 (2), 103 - 107.

- Saeed, F.; Chaudhry, U.; Raza, A.; Charagh, S.; Bakhsh, A.; Bohra, A.; Ali, S.; Chitikineni, A.; Saeed, Y.; Visse, R.G.F.; Siddique, K.H.M., y Varshney, R. K. (2023). Developing future heat - resilient vegetable crops. *Functional & Integrative Genomics*, 23 (1), 47.
- Sato, S.; Peet, M. M., y Gardner, R. G. (2001). Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Scientia Horticulturae*, 90 (3 - 4), 243 - 254.
- Sato, S.; Peet, M., y Thomas, J. F. (2000). Physiological factors limit fruit set of tomato under chronic, mild heat stress. *Plant, Cell & Environment*, 23 (7), 719 - 726.
- Sawhney, V. K., y Dabbs, D. H. (1978). Gibberellic acid induced multilocular fruits in tomato and the role of locule number and seed number in fruit size. *C. J. B.*, 56(22), 2831-2835.
- Sawhney, V. K., y Greyson, R. I. (1972). On the initiation of the inflorescence and floral organs in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Canadian Journal of Botany*, 50 (7), 1493 - 1495.
- Schwartz, M. D. (2003). *Phenology: an integrative environmental science*. Second Edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Selahle, M. K.; Sivakumar, D., y Soundy, P. (2014). Effect of photo - selective nettings on post-harvest quality and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *J. of the Science of Food and Agriculture*, 94 (11), 2187 - 2195.
- Shehzad, T.; Okuizumi, H.; Kawase, M., y Okuno, K. (2009). Development of SSR - based sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) diversity research set of germplasm and its evaluation by morphological traits. *Genetic resources and crop evolution*, 56, 809 - 827.
- Shi, J., y Maguer, M. L. (2000). Lycopene in tomato: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40 (1), 1 - 42.
- Shivashankara, K.S.; Pavithra, K.C.; Laxman, R.H.; Sadashiva, A.T.; Roy, T.K., y Geetha, G.A. (2015). Changes in fruit quality and carotenoid profile in tomato (*Solanum lycopersicon*) genotypes under elevated temperature. *Journal Horticultural Science*. 10, 38 - 43.
- Shwartz, I.; Levy, M.; Ori, N., y Bar, M. (2016). Hormones in the tomato leaf development. *Developmental Biology*, 419 (1), 132 - 142.
- Soylu, K. M., y Comlekcioglu (2009). Effects of high temperature on pollen grain characteristics in tomato (*Lycopersicon esculentum* M.). *Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University (Turkey)*.

- Speranza, A.; Calzoni, G. L., y Pacini, E. (1997). Occurrence of mono- or disaccharides and polysaccharide reserves in mature pollen grains. *S. Plant Reproduction*, 10, 110 - 115.
- Spooner, D. M., Anderson, G. J., y Jansen, R. K. (1993). The chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos (*Solanaceae*). *American Journal of Botany*, 80 (6), 676 - 688.
- Stanley, R. G. (1971). Pollen chemistry and tube growth. En *Pollen* (131 - 155). B.H.
- Tabernaemontanus (1591). *Neuw, und vollkommenlich Kreuterbuch* (Vol. 2). Nicolaus Basseus.
- Tank, A. K., y Können, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946 - 99. *Journal of climate*, 16 (22), 3665 - 3680.
- Thiery, W.; Davin, E.; Lawrence, D. M.; Hirsch, A. L.; Hauser, M., y Seneviratne, S. I. (2017). Present - day irrigation mitigates the heat extremes. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 122 (3), 1403 - 1422.
- Tilahun, S.; Seo, M. H., y Jeong, C. S. (2017). Review on the factors affecting the quality and antioxidant properties of tomato. *African Journal of Biotechnology*, 16 (32), 1678 - 1687.
- Tournefort, J.P. (1694). *Éléments de Botanique*. L'Imprimerie royale, Paris.
- USDA (2017). Soil survey manual. En *Soil Survey Division Staff; Soil Conservation Service Volume Handbook 18*. U.S. Department of Agriculture.
- Varga, A., y Bruinsma, J. (1976). Roles of seeds and auxins in tomato fruit growth. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 80 (2), 95 - 104.
- Varga, A., y Bruinsma, J. (1986). Tomato. *Handbook of fruit set and development*, 461 - 481.
- Verkerk, K. (1955). *Temperature, light and the tomato* (Doctoral dissertation, Veenman).
- Vijayakumar, A., y Beena, R. (2020). Impact of temperature difference on the physicochemical properties and yield of tomato: a review. *Chemical Science R. and L.*, 9 (35), 665 - 681.
- Vijayakumar, A., y Beena, R. (2023). The response of tomato quality and yield to elevated temperatures under controlled environment. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13 (12), 256 - 271.
- Vijayakumar, A.; Shaji, S.; Beena, R.; Sarada, S.; Rani, T.; Stephen, R.; Manju, M., y Viji, M. M. (2021). High temperature induced changes in quality and yield parameters of tomato and similarity coefficients among genotypes using SSR markers. *Heliyon*, 7 (2).

- Wang, S. Y., y Camp, M. J. (2000). Temperatures after bloom affect plants growth and fruits quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 85 (3), 183 - 199.
- Weerakkody, W. A. P. (2003, July). Nutritional value of fresh leafy vegetables as affected by pre - harvest factors. In *International Conference on Quality in Chains: an integrated view on fruit and vegetable quality*, 604 (pp. 511 - 515).
- Went, F. W. (1944). Plant growth under controlled conditions II. Thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. *American Journal of Botany*, 135 - 150.
- WPTC. Consejo Mundial del Procesamiento de Tomate. Disponible a través del siguiente enlace: <https://www.wptc.to/> (consultado en agosto de 2023).
- Xu, J.; Wolters - Arts, M.; Mariani, C.; Huber, H., y Rieu, I. (2017). Heat stress affects vegetative and reproductive performance and trait correlations in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Euphytica*, 213, 1 - 12.
- Xue, R.; Zhang, C.; Yan, H.; Li, J.; Ren, J.; Akhlaq, M.; Hameed, M.U., y Disasa, K.N. (2023). Physiological response of tomato and cucumber plants to micro - spray in a high temperature environment. *Scientific and effective means of alleviating crop stress. Agronomy*, 13 (11), 2798.
- Zhang, C.; Zhang, W.; Yan, H.; Ni, Y.; Akhlaq, M.; Zhou, J., y Xue, R. (2022). Effect of micro - spray on plant growth and chlorophyll fluorescence parameter of tomato under high temperature condition in a greenhouse. *Scientia Horticulturae*, 306, 111441.
- Zinn, K.; Tunc - Ozdemir, M., y Harper, J. F. (2010). Temperature stress and plant sexual reproduction: Uncovering the weakest links. *J. of Exp. Botany*, 61 (7), 1959 - 1968.