



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Aplicación de técnicas de riego deficitario en tomate para industria y sus efectos sobre la producción y calidad de la cosecha.



Autora del proyecto: María Arcauce Lozano.

Directores:

Mireia Corell González

Félix Moreno Lucas

Enero 2015

Aplicación de técnicas de riego deficitario en tomate para industria y sus efectos sobre la producción y calidad de la cosecha.

GRAGO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESPECIALIDAD EN HORTOFRUTÍCULTURA Y JARDINERÍA.

Directores:

Mireia Corell González

Félix Moreno Lucas

Alumna : María Arcauce lozano

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar me gustaría dar las gracias a Mireia Corell ya que ella ha sido la que me ha permitido realizar este proyecto. Destacar en especial su dedicación, constancia y atención en todo momento hacia el proyecto, sin ella nada hubiera salido en adelante.

En segundo lugar agradecer enormemente la atención de Alfonso Moriana, M^a José Martín-Palomo y todas y cada una de las personas del IRNAS que colaboraron en la realización del ensayo.

Por último agradecer a mi familia y amigos su gran dedicación y apoyo día a día puesto que sin ellos nada hubiera sido igual.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar el riego deficitario controlado en tomate de industria empleando el estado hídrico del cultivo como indicador de riego y mejorar si es posible la calidad de los frutos manteniendo la producción con un ahorro de agua.

La estrategia de programación del riego es la de dar condiciones de estrés hídrico en función de los valores del potencial hídrico de las plantas.

El ensayo se realizó en la finca experimental “La Hampa”, propiedad del CSIC. Dicha finca está ubicada en Coria del Río (Sevilla) y tiene un clima templado, típicamente mediterráneo, con inviernos suaves y húmedos y veranos secos y calurosos.

El diseño experimental consistió en parcelas al azar, en las que se aplicaron tres tratamientos de riego. Un primer tratamiento en base al 100% de la evapotranspiración del cultivo, un segundo tratamiento en base al 75% de la evapotranspiración del cultivo, y un tercer y último tratamiento en función al estado hídrico del cultivo mediante la medida del potencial hídrico de las plantas.

La programación del riego en función de la técnica de riego deficitario controlado está basada en la existencia de estados fenológicos de la planta más resistente a las condiciones de estrés hídrico y por consiguiente, se pudo disminuir la cantidad de agua aplicada sin que afectara a la producción.

Los parámetros fisiológicos, potencial hídrico y conductancia estomática, empleados indican que hubo diferencias altamente significativas entre los tres tratamientos sobre todo al inicio del ensayo.

En el crecimiento vegetativo de las plantas podría decirse que también hubo algunas diferencias significativas pero en el peso de los frutos no se apreciaron diferencias entre ninguno de los tres tratamientos.

En cuanto al porcentaje de sombreado de las plantas, entre los tres tratamientos no se observaron diferencias significativas.

Los parámetros de calidad analizados en dicho ensayo como el pH, grados Brix, y tensión, no presentaron diferencias significativas, a excepción de los licopenos que sí se vieron evidentes diferencias entre los tres tratamientos.

En cuanto a las conclusiones evidentes del ensayo destaca que el tratamiento de riego deficitario basado en el potencial hídrico de las hojas permitió un ahorro de agua del 47% sin que se viera afectada la producción y calidad de la cosecha.

Para dicho tratamiento, durante la fase de desarrollo vegetativo y con las condiciones de estrés aplicada, afectó en el desarrollo de las plantas, que se volvieron a recuperar con la posterior rehidratación del agua de riego.

Durante la fase de crecimiento de frutos y de acumulación de azúcares, los umbrales usados fueron de -0.5 MPa y -0.8 MPa respectivamente; y han permitido un estado hídrico óptimo para el cultivo consiguiendo además un ahorro de agua del 42% y del 93% para cada una de las fases.

Por otro lado, el tratamiento de riego deficitario de 75 % de la ETC no mostró un comportamiento diferente del resto de los tratamientos pero sí se obtuvieron frutos de peor calidad y menores rendimientos de la cosecha.

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. MATERIALES Y MÉTODOS**
- 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**
- 5. CONCLUSIONES**
- 6. BIBLIOGRAFÍA**

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Historia del tomate.....	1
1.2 Importancia del cultivo del tomate.....	3
1.2.1. El cultivo de tomate en el mundo.....	3
1.2.2. El cultivo de tomate en España.....	3
1.2.3. El cultivo de tomate en Andalucía.....	4
1.3 El cultivo de tomate para industria.....	5
1.3.2 El cultivo de tomate de industria en el mundo.....	5
1.3.2 El cultivo de tomate para industria en España.....	6
1.3.3 El cultivo de tomate para industria en Andalucía.....	6
1.3 Descripción botánica y morfológica de la planta del tomate.....	8
1.4 Necesidades climáticas del tomate.....	9
1.5 Técnicas de cultivo más importante del tomate de industria.....	10
1.6 Estrés hídrico.....	11
1.7 Programación del riego en tomate de industria.....	12
1.8 Riego deficitario en tomate.....	13
2. OBJETIVOS.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Descripción de la finca La Hampa.....	17
3.1.1 Situación.....	17
3.1.2 Clima.....	18
3.1.3 Suelo.....	20
3.1.4 Material vegetal.....	20
3.1.5 Tratamientos hídricos.....	21
3.1.6 Medidas meteorológicas.....	23
3.2 Diseño experimental.....	23
3.2.1. Seguimiento de los experimentos.....	26
3.3 Medidas en parcela.....	26
3.3.1. Medida de la cobertura del suelo.....	26
3.3.2. Medida del contenido de agua en suelo.....	27
3.3.3 Medida del potencial hídrico.....	28
3.3.4. Medida de la conductancia estomática.....	29
3.3.5. Medida del crecimiento y desarrollo.....	29
3.3.6. Cosecha.....	30
3.4. Análisis de los datos.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5. CONCLUSIONES.....	51
6. BIBLIOGRAFÍA.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 A: Evolución de las temperaturas medias, mínimas y máximas (°C) desde inicios de 2014 hasta septiembre del 2014, en Coria del río (Sevilla).....	19
Figura 1 B: Evolución de la precipitación y la ETo desde inicios de 2014 hasta finales de la recolección.....	19
Figura 2: Cantidad de agua acumulada en mm en los tres tratamientos de riego durante el ensayo.	22
Figura 3: Distribución de las parcelas en el ensayo.....	24
Figura 4: Evolución del contenido de agua en el suelo en los primeros 10cm de profundidad.....	34
Figura 5: Evolución del potencial hídrico en hoja, medido al mediodía solar durante el período del ensayo.....	36
Figura 6: Evolución de la conductancia estomática en el envés de la hoja.....	38
Figura 7: Evolución de la conductancia estomática en el haz de la hoja.....	39
Figura 8: Integral de estrés.....	40
Figura 9: Evolución de la altura de la planta.....	41
Figura 10: Evolución del porcentaje de sombreo del cultivo.....	42
Figura 11: Evolución del peso de los frutos.....	44
Figura 12: Evolución del color en frutos.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción mundial de tomate para procesado	5
Tabla 2: Principales países productores de tomate para industria para el año 2014.....	6
Tabla 3: Histórico de superficie cultivada de tomate y producciones en Andalucía.....	7
Tabla 4: Efectos del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción del tomate de industria.....	15
Tabla 5: Características más relevantes del suelo	20
Tabla 6: Cantidad de agua aportada durante cada fase del ensayo	22
Tabla 7: Etapas del ensayo	24
Tabla 8: Manejo de la plantación de tomate	25
Tabla 9: Resultados de la producción total (t/ha), dosis de riego empleada en % de la ETc, Agua aplicada (mm)y eficiencia hídrica t/m ³ de agua aplicada	47
Tabla 10: Resultados de la producción de fruto comercial, verde y destrío.....	48
Tabla 11: Análisis de los parámetros de calidad más significativos en tomate.....	50

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1.....	17
Foto 2.....	27
Foto 3.....	29
Foto 4.....	30
Foto 5.....	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Historia del tomate

El tomate, de nombre científico *Lycopersicon esculentum* Mill, pertenece a la familia de las solanáceas. Se trata de una especie originaria de Sudamérica cuyo origen se encuentra en la región de los Andes desde donde fue llevado a México, país donde comenzó su domesticación y actuó como centro de difusión de la especie, siendo su nombre en lengua natural azteca “tomati” (Vergani 2002).

La primera descripción botánica del tomate fue realizada por Pier Andrea Mattioli, en el jardín botánico de Padua en Italia en el año 1554. A partir de ese año, el tomate aparece descrito en múltiples herbarios como el de Matthias de L’Obel en el año 1581 o el de Gerard en Inglaterra en el 1597 (Nuez, 1995).

Inicialmente se le tenía una cierta desconfianza a este nuevo tipo de fruta que comenzaba a utilizarse en el sur del continente, especialmente en Italia, y es precisamente en este país donde, a finales del siglo XVI, se introduce por primera vez el nombre de tomate en la nomenclatura científica llamándolo *Tomati americanorum*. Hasta finales del siglo XVIII, continuaba en Europa la desconfianza hacia esta especie (Vergani, 2002), puesto que se creía que era venenosa por su relación con las plantas de la familia de las solanáceas como el beleño o la belladona (Rodríguez et al 1997). Su carrera ascendente se inicia en el siglo XIX, cuando se comienzan a aplicar los principios de Mendel para la selección de tipos y variedades (Namesny y Merino, 2004).

Durante el siglo XX se produce una explosión de variedades locales adaptadas a un pequeño y particular mercado. La transformación del tomate silvestre hacia las formas actuales se produce con el transcurso del tiempo y como consecuencia del traslado de las especies de un sitio a otro, la presión del medio ambiente, la disminución de las especies de insectos polinizadores y la elección por el hombre de plantas autofértiles provocando una desviación genética y dando como resultado la aparición de las variedades cultivadas a partir del siglo XIX (Vergani, 2002).

Paralelamente, durante el siglo XX, en España se cultivaban variedades locales. En la zona de levante se cultivaba la variedad “Muchamiel”, en Murcia, la variedad

“Flor de Baladre”, en Valencia la variedad “Early Pack” y en Cataluña las variedades “Pomets” y “Montserrat” (Vergani 2002).

Durante el siglo XX, en el resto de España se cultivaban otras muchas variedades adaptadas a condiciones locales. A partir de la década de los setenta, comienzan a aparecer en España los primeros híbridos F1, los cuales han jugado un papel fundamental en la rápida evolución que ha tenido el cultivo de tomate hasta la actualidad. Estos híbridos marcaron una etapa muy importante desde el punto de vista del material vegetal, ya que con ellos no sólo se obtuvieron aumentos en las producciones, sino que se mejoraron las calidades y la longevidad de los cultivos, debido entre otros factores a la resistencia de los mismos a determinadas enfermedades como *Botrytis*, *Alternaria*, oídio o antracnosis entre otras (Vergani, 2002).

Actualmente, la producción de tomate se ha extendido a todo el mundo, su comercio importa millones de toneladas (Namesny y Merino, 2004). Su cultivo y su consumo se ha diversificado tanto que es difícil encontrar otros productos agrícolas que sean consumido en las mismas cantidades que se consume el tomate (Rodríguez et al, 1997), de ahí a que a día de hoy se siga trabajando en la mejora genética del tomate con objetivos claros para conseguir una mejor producción, un mayor tamaño de fruto, una buena resistencia a enfermedades y variedades cada vez más precoces (Vergani2002), así como para proveer a los agricultores de variedades de tomate de alta calidad que permitan unos buenos rendimientos a nivel industrial (Saavedra et al.2005), para conseguir productos con buenas cualidades organolépticas y de alto valor nutritivo.

Otro de los objetivos de los mejoradores sobre todo en los últimos años, es la obtención de variedades que produzcan frutos de alta calidad ya que en general los consumidores reclaman frutos de buenas cualidades organolépticas y contenido en componentes funcionales.

Y dentro de la industria del procesado del tomate las variedades se valoran por su adecuación a la mecanización, y su calidad desde el punto de vista del procesado: contenido en licopenos, solidos solubles y color principalmente.

1.2. Importancia del cultivo del tomate

1.2.1. El cultivo de tomate en el mundo

El tomate es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento, y en menor proporción al aumento de la superficie. El tomate se cultiva en una amplia variabilidad de condiciones de clima y suelo, aunque se cultiva principalmente en climas secos, tanto para producción en fresco como para uso agroindustrial (Escalona et al, 2009).

Los países que ocupan los primeros tres lugares en el ranking de mayores exportadores comercializan un 55% del total mundial. Holanda ocupa el primer sitio con 22% del volumen de las exportaciones mundiales de tomate. México se encuentra en el segundo lugar con 18% de las mismas y España se posiciona en el tercer lugar con el 17% del total mundial (SFA, 2010).

De acuerdo con las estadísticas de la FAO (2012), China es el principal productor de tomates a nivel mundial con unas 180,000,000 toneladas, le sigue La India con 70,000,000 toneladas aproximadamente, EE.UU con 50,000,000 toneladas, Turquía, Egipto e Irán, con unas producciones comprendidas entre las 30,000,000 a las 50,000,000 toneladas e Italia, Brasil y España con las producciones más bajas, desde las 10,000,000 toneladas a las 30,000,000 toneladas.

Destacar que los últimos datos de producción mundial de tomate son del año 2012, registrados por la FAO, en los que la producción mundial de tomate se sitúa en torno a las 50,000,000 toneladas.

1.2.2. El cultivo de tomate en España

El tomate es una de las hortalizas más importantes dentro de la economía española, debido a que su cultivo está garantizando no sólo la rentabilidad de las explotaciones, sino también la supervivencia de los agricultores en comparación con otras especies que han generado cierta incertidumbre durante muchos años (Reche 2009).

De acuerdo con Namesny y Merino (2004), los factores que determinaron el éxito del comercio internacional de tomates en España fueron: un excelente clima de la región que junto con las variedades de larga vida, hicieron posible la producción de tomates de calidad con tecnologías de producción baratas y simples, los bajos costos de producción en comparación con otros países, la mejora de las infraestructuras de transporte, así como buenas técnicas de marketing que facilitaron la comunicación con los clientes.

Con respecto a la superficie de tomate cultivada en España y según datos del Anuario de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2007), la superficie cultivada de tomate se ha mantenido relativamente constante durante el periodo comprendido entre 1998-2003 con aproximadamente 6,300 miles de hectáreas. Desde 2003 al 2005, la superficie se ha incrementado llegando a las 72,300 miles de hectáreas para el año 2005, sin embargo desde el año 2005 al 2007, la evolución de la superficie cultivada ha sido decreciente, reduciéndose hasta las 34,100 miles de hectáreas en el año 2007, sin embargo, la superficie se incremento en los años sucesivos llegando a las 48,836 miles de ha para el año 2012, con un posterior descenso en el año siguiente (2013) con 45,304 miles de ha (MAGRAMA 2013).

En cuanto a la producción total de tomate y por comunidades autónomas, Andalucía se posiciona en primer lugar con 1,656.3 miles de toneladas, seguida de Extremadura con 1,082 miles de toneladas. En tercera posición se encuentra Murcia (298.9 miles de toneladas) y en cuarto lugar están Las Islas Canarias con 123.6 miles de toneladas (MAGRAMA 2013).

1.2.3. El cultivo de tomate en Andalucía

En Andalucía, la principal zona de cultivo y producción de tomates se sitúa en las provincias de Almería, Granada y Sevilla con unas producciones de 962.7, 310.8 y 249.3 miles de toneladas respectivamente. Le siguen otras provincias como Málaga con 72.1 miles de toneladas o Cádiz con 38 miles de toneladas. (MAGRAMA 2013). La superficie total que se destina a la producción de tomate en Andalucía es de 18,882 ha de las que 9,554 ha se sitúan en Almería, 3,627 ha en Granada y 2,765 ha en Sevilla (MAGRAMA 2013).

1.3. El cultivo de tomate para industria

1.3.1. El cultivo de tomate para industria en el mundo

La producción de tomate para industria a nivel mundial ha experimentado constantes subidas y bajadas en el periodo comprendido desde el año 2005 hasta el año 2014.

Tal y como muestra la tabla 1, la producción de tomate para industria a nivel mundial era de 32,677,000 toneladas para el año 2005. Dicha producción se redujo en unas 2,000,000 toneladas para el año siguiente (2006) para volverse a recuperar en unas 4,500,000 toneladas aproximadamente durante los años 2007 y 2008, alcanzando para entonces las 35,370,000 toneladas. En el año 2009, la producción de tomate para industria se incrementó enormemente registrando el máximo valor del periodo 2005-2014 con 42,534,000 toneladas, de ahí en adelante, se vuelve a reducir la producción hasta el año 2013 que registró un valor de 33,002,000 toneladas. El último dato, en el año 2014, muestra una leve recuperación de la producción mundial de tomate para industria con 39,859,000 toneladas (WPTC 2014).

Tabla 1. Producción mundial de tomate para procesado (WPTC 2014).

Año	Producción tomate procesado (t)
2005	32,677,000
2006	30,462,000
2007	34,130,000
2008	35,370,000
2009	42,534,000
2010	37,371,000
2011	37,692,000
2012	33,442,000
2013	33,002,000
2014	39,859,000

A nivel mundial, la producción de tomate para industria en el año 2014 se distribuyó de la siguiente manera: California fue el principal productor de tomate para industria en el mundo con un 31.9%, le sigue China (15.8%), Italia (12.3%), España (6.8%), Irán (5.5%), Turquía(4.5%), Brasil(3.5%), y Portugal(3%) (Tabla 2).

Tabla 2. Principales países productores de tomate para industria para el año 2014. (WPTC, 2014).

PAÍS	Producción tomate para industria (2014)
California	12,700,000
China	6,300,000
Italia	4,910,000
España	2,700,000
Irán	2,200,000
Turquía	1,800,000
Brasil	1,400,000
Portugal	1,200,000

Destacar por último que dentro del área mediterránea destaca Italia como el principal productor, con un 31% del total de la región, seguido de España con un 17% de la producción de tomate de industria (WPTC, 2014).

1.3.2. El cultivo de tomate para industria en España

Desde el año 2006 hasta el 2014, la producción de tomate para procesado en España ha seguido la siguiente evolución: La producción registrada de tomate para industria en el año 2006 fue de 1,580,000 toneladas y se fue incrementando hasta que en el 2009 llegó a las 2,700,000 toneladas. En el periodo comprendido entre 2009 hasta el 2013, la producción española de tomate para industria siguió una tendencia decreciente hasta alcanzar en el año 2013 las 1,650,000 toneladas. Sin embargo los datos provisionales de 2014 indican un incremento en la producción registrando 2,700,000 toneladas para el año 2014 (WPTC,2014).

1.3.3. El cultivo de tomate para industria en Andalucía

En Andalucía el cultivo de tomate para industria tiene su origen en el año 1986 en la zona del bajo Guadalquivir, iniciándose en una fábrica en Lebrija con una capacidad de 500 Tm.día⁻¹ y con unos rendimientos medios que no sobrepasaban los 50000 Kg.ha⁻¹. Desde el inicio de la actividad productiva del tomate de industria, la producción se ha ido concentrando casi exclusivamente en la comarca del Bajo Guadalquivir y concretamente en los municipios de Lebrija, Las cabezas de San Juan, Utrera y Los Palacios y Villafranca. También se ha cultivado, y aún se mantiene el

cultivo en explotaciones de la costa noroeste gaditana (Rota y Puerto de Santa María). El cultivo se consolida como tal en la campaña de 1996 en la zona. A lo largo del tiempo la superficie cultivada ha ido incrementándose y las estructuras productivas se han ido modernizando, esto sumado al incremento de la eficiencia en las prácticas agronómicas, ha hecho que las producciones se incrementen de 110t.ha⁻¹ a 120t.ha⁻¹, en los últimos años (García et al, 2005).

En cuanto a la superficie (ha) de tomate para industria en Andalucía se ha reducido drásticamente desde el año 2005 hasta el año 2013. Para el año 2005 se cultivaban en Andalucía 10,140 ha de tomate para industria con una producción media en toneladas de 686,138. Para el año 2006, a pesar de que la superficie destinada a la producción de tomate para industria sufrió una leve reducción (8,852 ha), la producción se incrementó levemente llegando a 700,039 toneladas. En el año 2007 y en el año 2008, en Andalucía se ha reducido tanto la superficie como la producción de tomate para industria comparado con los años anteriores.

En el año 2009 se produjo una recuperación de la producción de tomate para industria con valor de 665,857 toneladas. Desde el 2009 hasta el 2013, ha venido reduciéndose tanto la producción como la superficie destinada al tomate de industria en Andalucía (Tabla 3).

Tabla 3: Histórico de superficie cultivada de tomate y producciones en Andalucía Consejería de agricultura, pesca y desarrollo. Junta de Andalucía.

Año	Superficie tomate industria(ha)	Producción tomate industria (t)
2005	10,140	686,138
2006	8,852	700,039
2007	7,011	418,140
2008	7,296	473,712
2009	9,681	665,857
2010	8,678	548,018
2011	7,866	589,104
2012	6,626	510,654
2013	6,636	459,517

1.4. Descripción botánica y morfológica de la planta del tomate

El tomate pertenece a la familia de las solanáceas junto con otras especies hortícolas como las patatas y las berenjenas que contienen un alcaloide (la solanina), que puede resultar tóxico cuando se encuentra en altas cantidades (Sirtoni et al, 2007).

La planta del tomate está constituida por un tallo principal de consistencia herbácea que se ramifica conforme gana altura (Reche, 2009) y su diámetro puede variar entre los 2 y 4 cm en la base presentando pilosidades que salen de la epidermis (Namesny y Merino, 2004).

La estructura de la planta es la de un simpodio en la que el tallo principal forma de 6 a 12 hojas que crecen lateralmente hasta que la yema principal se transforma en una inflorescencia (Nuez 1995).

El sistema radicular presenta una raíz pivotante que crece 3 cm al día y puede llegar a alcanzar los 60 cm de profundidad (Rodríguez et al 1997). Simultáneamente nacen raíces adventicias, que resultan esenciales puesto que por ellas se realiza la mayor asimilación de agua y nutrientes (Rodríguez et al 1997).

Las hojas en la planta del tomate nacen de forma alterna en el tallo y se caracterizan por ser pecioladas, lobuladas e imparipinadas. Éstas están compuestas por un número variable de folíolos laterales que oscilan entre 8 y 18 según el tipo de variedad (Reche, 2009).

Las flores se reúnen en inflorescencias en racimo, más o menos grande y son de color amarillo con un número variable de pétalos entre 5 y 6, que se abren en torno a los órganos reproductivos masculinos. La apertura de las flores y la formación de los frutos en el racimo no ocurre simultáneamente, sino que se produce gradualmente, sobretodo en variedades compuestas por un gran número de flores (Sirtoni et al 2007).

El fruto del tomate es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopina y carotina en distintas proporciones. Su forma puede ser redondeada, achatada o con forma de pera, y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño muy variable según las variedades (Rodríguez et al 1997).

En cuanto a las variedades de tomate para industria cabe destacar las variedades para pelado y las variedades para concentrado. Las primeras se caracterizan por ser

plantas determinadas, compactas, cuya masa foliar cubre bien los frutos, son vigorosas y precoces. Sus frutos tienen forma de pera. Este tipo de variedades tienen la fructificación y la maduración agrupada, y son óptimas para la recolección mecanizada. Con respecto a las variedades para concentrado son también plantas de crecimiento determinado, compactas y con cobertura foliar abundante. Poseen forma cuadrangular y también están bien adaptadas a la recolección mecanizada (Saavedra et al, 2005).

1.5. Necesidades climáticas del tomate

En el cultivo del tomate es importante tener en cuenta una serie de factores que influyen en la posterior germinación, floración, fecundación y maduración de los frutos.

Temperatura: Temperaturas superiores a 35° C causan en el tomate una disminución de la cantidad de polen emitido, menor número de flores, amarilleamiento de los frutos; así como favorece el desarrollo de enfermedades como el *Mildium* o la *Botrytis*. Las plantas de tomate desarrollarán en buenas condiciones con temperaturas de 20 a 26° C por el día y de 12 a 16 °C por la noche (Reche, 2009).

La temperatura óptima para la germinación está entre los 25-30°C (Rodríguez et al 1997), en cambio, para la floración y la polinización es de 20-22°C. La temperatura óptima durante el periodo vegetativo es de 20-26 °C, y la óptima durante el crecimiento de frutos está entre los 18- 22 °C (Reche, 2009).

Humedad: el cultivo del tomate exige una humedad ambiental media el 65 al 75%. Con humedad ambiental alta se reduce la transpiración y la asimilación de nutrientes mientras que si es demasiado baja se reduce la capacidad fotosintética de las plantas debido al cierre de sus estomas (Reche, 2009).

Luminosidad: El tomate es una planta sin grandes exigencias en luminosidad, sin embargo en condiciones de escasez de luz influye en el crecimiento de las plantas, así como en la apertura de las flores, en la fecundación y en la maduración y coloración de los frutos (Reche, 2009).

1.6. Técnicas de cultivo más importantes del tomate de industria

- En el tomate para industria las normas de producción integrada, videntes desde 2008 en Andalucía destacan las siguientes prácticas de cultivo:
- Preparación del terreno y laboreo:
 - ✓ Nivelación del terreno para parcelas con riego a surco para evitar encharcamientos.
 - ✓ Evitar el transporte de tierra entre distintas parcelas para evitar la reproducción de enfermedades o la proliferación de malas hierbas.
 - ✓ Realizar labores preparatorias de terreno que faciliten el drenaje y la aireación para mantener una buena estructura en el suelo.
 - ✓ Proceder a la preparación de las mesas o camas cuando el terreno esté libre de terrones y seco.
 - ✓ Realizar labores de bina y aporcado para eliminar las malas hierbas, evitar la compactación del terreno, aumentar la eficacia del riego y para la incorporación del abonado nitrogenado.
 - ✓ Realizar técnicas naturales de desinfección del suelo tales como la biofumigación o la solarización.
- Con respecto a la siembra es importante considerar los siguientes aspectos:
 - ✓ Utilizar plantas de unos 35-40 días, con 4-5 hojas bien formadas y yema terminal en perfectas condiciones.
 - ✓ La altura de las plantas debe estar comprendida entre 12 y 15 cm.
 - ✓ El grosor del tallo debe ser de 4 a 6 cm.
 - ✓ Las plantas deben estar libres de enfermedades, plagas, y no poseer zonas necróticas por podredumbres.
- En cuanto al riego se debe evitar el estrés hídrico en el período de establecimiento de las plantas y en la fase de cuajado de frutos. En riego localizado conviene hacer uso de un programador automático, tener un correcto mantenimiento del sistema de riego con los tratamientos desinfectantes oportunos así como mantener el agua en buena calidad a través de sistemas de filtrados.

1.7. Estrés hídrico

El estrés hídrico se puede definir como el estado en el cuál la demanda de agua por la planta supera a la capacidad de suministro por las raíces. La demanda de agua está determinada por la transpiración, fenómeno dependiente de variables físicas como la radiación, la temperatura y la humedad relativa. Estas condiciones de estrés se dan por tanto bajo condiciones de baja disponibilidad de agua en el suelo o bien de alta demanda evaporativa (altas temperaturas, muy baja humedad relativa del aire). En situaciones de estrés hídrico se produce una desestabilización inicial de las funciones de la planta, seguida de un proceso de adaptación y de normalización y una mejora de la resistencia a esas condiciones adversas. Sin embargo, si se exceden los límites de tolerancia y se sobrepasa la capacidad de aclimatación, el resultado puede ser un daño permanente o incluso la muerte. A esta definición habría que añadirle el concepto de regeneración, esto es, la capacidad de la planta para volver al estado original cuando ha cesado el agente estresante (Lichtenthaler, 1996).

Desde un punto de vista ecofisiológico, se entiende por estrés hídrico cualquier limitación al funcionamiento óptimo de la planta impuesta por su insuficiente disponibilidad de agua. El estrés hídrico es el factor ambiental que más limita la producción agrícola a nivel mundial. Existe una elevada correlación entre la productividad de los ecosistemas y su precipitación característica (Lambers et al, 1987). A escala mundial, se estima que el rendimiento potencial de los cultivos se reduce en más del 70% debido a las limitaciones ambientales. De este porcentaje, el estrés hídrico en la vegetación natural y cultivada se observan durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre, dependiendo de la climatología anual (Informe de Medio Ambiente de Andalucía, 2012).

Puesto que el agua tiene un papel esencial en la fisiología de las plantas, el estrés hídrico afecta a la mayor parte de sus funciones vitales. En condiciones de sequía disminuye la capacidad de germinación de las semillas, se reduce el crecimiento, la absorción de nutrientes, y puede dar lugar al desarrollo de enfermedades en el cultivo.

El agua es el factor limitante más importante en Agricultura, especialmente en condiciones de cultivo en zonas áridas o semiáridas (Moriani et al, 2010), como es nuestro caso. De modo que optimizar las estrategias de manejo de riego se hacen imprescindibles para la viabilidad de los cultivos en estas condiciones.

1.8. Programación del riego en tomate de industria

El primer aspecto fundamental para llevar a cabo la programación del riego en hortalizas es conocer las necesidades hídricas del cultivo en cuestión. La programación del riego se realiza generalmente en función de la evapotranspiración del cultivo. Por evapotranspiración se entiende la combinación de dos procesos a través de los cuales se pierde el agua: la evaporación (proceso por el cual el agua líquida pasa a vapor gracias a la radiación solar y la temperatura ambiental), y la transpiración (pérdida de agua por parte de las plantas a través de los estomas). Tanto el primer proceso como el segundo, ocurren simultáneamente y se ven afectados por diversos factores como el clima, las características del cultivo y el suelo (Ferrayra et al, 1983).

La metodología más empleada para conocer las necesidades de riego es el balance de agua. Una vez conocida la evapotranspiración, se lleva a cabo un balance de agua en el suelo, que estará definido por las entradas de agua en forma de lluvia, condensaciones y las salidas en forma de escorrentía, drenajes...en base a todo lo anterior es posible determinar el momento óptimo del riego (Ferrayra et al, 1983).

El cultivo de tomate de industria en la comarca del Bajo Guadalquivir tiene perspectivas de convertirse en uno de los cultivos más significativos en las zonas regables de esta comarca. Es un cultivo con necesidades hídricas durante prácticamente todo su desarrollo, desde marzo hasta agosto aproximadamente, y según el balance hídrico y la bibliografía disponible es necesaria una gran cantidad de agua debido a varios motivos: el primero de ellos es que este cultivo se está implantando en la época donde existe mayor evapotranspiración potencial. El segundo motivo es que durante todo su ciclo apenas existen precipitaciones salvo en la época de implantación del mismo, cuando sus necesidades son mínimas. Y el último motivo es que la evolución de la planta es solidaria al aumento de evapotranspiración potencial (Salvatierra et al, 2007).

La disponibilidad de agua para cubrir las necesidades del cultivo es uno de los factores limitantes que ha encontrado este cultivo para continuar creciendo en nuestra región, con una gran dependencia de las pluviometrías anuales para poder garantizar las reservas de agua (García et al, 2005). Por esta razón se hace imprescindible la optimización del riego y la eficiencia en el uso del agua del cultivo.

1.9. Riego deficitario en tomate

El riego de tierras dedicadas a la agricultura representa más del 85% del agua de uso mundial (Van Schilgaarde, 1994), una reducción en el agua de riego, por muy pequeña que sea, podría aumentar la cantidad de agua disponible para otros propósitos. Esto es especialmente cierto en cultivos de tomate, que tienen la mayor superficie de cultivo de hortalizas en el mundo según Ho (1996).

El riego deficitario controlado es una técnica de programación que se desarrolló a comienzos de los 80 (Chalmers et al, 1985). Este sistema de programación del riego se basa en la existencia de estados fenológicos de la planta más resistentes a las condiciones de estrés hídrico y que, por lo tanto, nos permitirían disminuir la cantidad de agua a aplicar sin afectar, o disminuyendo muy poco, la producción.

En tomate para procesado, se emplea tradicionalmente la reducción del riego antes de la recolección para aumentar los sólidos solubles totales en fruto, que es uno de los parámetros de calidad más valorados en la industria del procesado de tomate (Johnstone et al, 2005). Investigaciones en California en los últimos años sugieren que las aplicaciones de riego deficitario sobre los primeros frutos produce precocidad en el cambio de color a rojo y pueden mejorar los sólidos solubles en la cosecha sin una disminución significativa en los rendimientos (Quadir et al, 2006).

Diversos estudios han trabajado el empleo de riego deficitario en tomate en cada una de las fases fenológicas del cultivo, con el fin de mejorar la aplicación de riego deficitario controlado y observar su efecto sobre la producción final, calidad de la misma y los azúcares acumulados en los frutos. Zegbe et al (2005) aplicaron una reducción del riego, en base a la ETc, en tres fases: crecimiento vegetativo, cuajado y crecimiento de frutos y maduración. Sus resultados mostraron que el estrés hídrico aplicado en la fase de crecimiento vegetativo no afectó a la producción final, ni a la calidad de la producción. Pero en las siguientes fases: cuajado, crecimiento y maduración de fruto sí se vio afectada la producción. Mejoró la calidad de los frutos el riego deficitario aplicado en la última fase, aumentando los azúcares acumulados.

Estudios más cercanos realizados en Extremadura, por el equipo de Fortes (2013) aplican riego deficitario, reduciendo en base a las necesidades hídricas (ETc), en las fases más importantes del cultivo: trasplante, floración y cuajado, crecimiento de

frutos y maduración. Concluyendo que las fases más sensibles son la floración y el trasplante. Momento en el que niveles de estrés por debajo de -0.8MPa producen una reducción en los rendimientos del cultivo, aunque supongan un aumento en la acumulación de azúcares en los frutos. También muestran como la reducción del aporte hídrico y niveles de estrés menores a -1MPa permiten una reducción importante del agua sin mermar la producción.

Los trabajos realizados en Andalucía hasta la fecha muestran una reducción muy importante en la producción con la aplicación de dotaciones de riego deficitarias. Es el caso del equipo de Salvatierra (2007) que reportan descensos importantes en los rendimientos con dosis de riego del 80% y 70% de las necesidades máximas del cultivo, aplicadas en su caso de manera continua a lo largo del cultivo. De igual modo se comportaron los trabajos realizados dentro de la Red Andaluza de Experimentación Agraria en la que se realizaron varios ensayos en la provincia de Sevilla (Aznalcazar y Lebrija) durante los años 2007 y 2008 con la variedad “Juncal”. En todos los casos se observó un descenso de los rendimientos con los tratamientos de riego deficitarios, sin una mejora en la calidad de los frutos.

Ante esta disparidad de resultados consideramos necesario avanzar en el estudio del riego deficitario controlado, profundizando en el estado hídrico del cultivo. Aspecto fundamental para poder comparar los datos de unos y otros ensayos. Ya que en muchas ocasiones los coeficientes de cultivo empleados para el cálculo de las necesidades hídricas no se ajustan a las necesidades concretas de los cultivos. En ocasiones sobreestimando las necesidades, ya que son estimaciones medias, muy útiles por que permiten aproximaciones certeras, pero genéricas, no adaptadas a las diferentes situaciones edafoclimáticas del cultivo del tomate de industria en nuestra región.

Tradicionalmente el indicador más ampliamente utilizado para evaluar el estado hídrico de las plantas ha sido el potencial hídrico foliar (Améglío et al, 1999; Hsiao, 1990), empleándose en algunos casos para programar el riego (Martín et al, 1991; Moriana et al, 2012). En diferentes especies se ha sugerido que el potencial hídrico de hojas que no transpiran (potencial hídrico del xilema o tallo) es un indicador más sensible al estrés hídrico y por lo tanto su medida es más fiable y adecuada para la programación del riego en cultivos leñosos (McCutchan y Shackel, 1992). En tomate los trabajos realizados por Barrs et al (1970) demostraron que la medida del potencial

hídrico en hoja y en tallo no muestran diferencias, de modo que para conocer el estado hídrico del cultivo la medida de hoja es adecuada, más sencilla y rápida.

En los últimos años se está comenzando a sugerir diferentes medidas realizadas directamente en planta para poder programar el riego. La idea de este manejo sería regar en función de un determinado nivel de déficit hídrico, de manera que ajustemos el agua aplicada para mantenernos entorno a este umbral. En este sentido uno de los primeros trabajos fue el de Shackel et al. (1997) en diferentes cultivos y empleando el potencial hídrico. A partir de la década de los 90, comienzan a desarrollarse en trabajos de investigación una gran cantidad de sensores que permiten un control automatizado del sistema suelo-agua-planta (Cohen, 1992). En el cultivo del tomate de industria no existen trabajos realizados en base a medida en planta, salvo la referencia del equipo de Fortes (2013) y el de Zegbe (2005) de diferentes niveles de estrés hídrico en cada una de las fases del cultivo, con los que se pueden establecer los periodos más resistentes y sensibles (ver tabla 4).

Tabla 4. Efectos del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción del tomate de industria (Fortes et al, 2013; Zegbe et al, 2005. Elaboración propia).

Proceso	Período	Efecto del Déficit Hídrico	Sensibilidad al déficit hídrico
Trasplante	Marzo - Abril	Descenso crecimiento	Muy Alta
Crecimiento vegetativo	Abril-Mayo	Descenso crecimiento, reducción nº flores y frutos	Moderada
Floración	Abril-Mayo	Reducción nº flores y frutos	Muy alta
Crecimiento frutos	Mayo-Junio	Incrementa efecto BER, aumenta la acumulación de azúcares	Muy alta
Maduración frutos	Julio-Agosto	Aumenta la acumulación de azúcares y el color	Baja

Consideramos interesante avanzar en la programación de riego del cultivo del tomate para procesado, aplicando riego deficitario y riego deficitario controlado, con el objeto de aumentar la eficiencia en el uso del agua, manteniendo niveles productivos aceptables y de calidad. Con la intención de desarrollar indicadores que puedan ser útiles para la aplicación óptima del riego.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar el efecto de dos técnicas de riego deficitario en el cultivo de tomate de industria. Aplicando un tratamiento de riego deficitario convencional, reduciendo en un 75% las necesidades del cultivo y un riego deficitario controlado en base al estado hídrico del cultivo.

Con los siguientes objetivos:

- 1) Caracterizar los niveles de estrés hídrico y fisiológico producidos por cada uno de los tratamientos de riego.
- 2) Describir el efecto del riego deficitario aplicado en el desarrollo y crecimiento del cultivo.
- 3) Observar el efecto de las diferentes técnicas de riego deficitario en la producción y los principales parámetros de calidad del tomate de industria.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la finca La Hampa

3.1.1. Situación

La finca experimental “La Hampa” pertenece al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y está adscrita al Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS).

Se sitúa en el término municipal de Coria del Río, a unos 15 Km al suroeste de Sevilla. Su altitud media sobre el nivel del mar es de unos 30 m; su latitud es $37^{\circ} 17' N$ y su longitud es $6^{\circ} 03' O$. La finca tiene aproximadamente unas 40 ha y se cultivan hortalizas (tomate), frutales (olivo y naranjo) y cultivos herbáceos de secano (trigo y girasol).



Foto 1. Vista aérea de la localización de la finca experimental “La Hampa” a la que se accede desde Sevilla por la A-8058 dirección Coria del Río.

3.1.2. Clima

Según Mudarra (1988) se describe el clima de la zona como templado, típicamente Mediterráneo, con inviernos suaves y húmedos y veranos secos y calurosos. Para Coria del Río, Mudarra (1988), da los siguientes datos medios:

- Temperatura media anual: 17.5°C
- Temperatura del mes más cálido: 33.5°C (Julio).
- Temperatura del mes más frío: 5.2°C (Enero).
- Oscilación termométrica: 28.3°C.
- Evapotranspiración potencial media anual: 1445 mm.

La figura 1-A representa las temperaturas máximas, medias y mínimas (°C) ocurridas durante el periodo previo y del ensayo, desde inicios de 2014 hasta finales septiembre, momento de la recolección del tomate (DDA1 y 252; 1 de enero – 9 de septiembre).

El ensayo se llevó a cabo entre los días del año (DDA) 135 y 252(15 de Mayo – 9 de septiembre). En este periodo las temperaturas máximas se encontraron en torno a 30.8 °C como media del período, la temperatura media sobre 22.9 °C y las mínimas en torno a 15.3°C. Las temperaturas ocurridas han sido suaves comparadas con las habituales durante el verano en esta zona.

El ensayo se concentra entre los días del año (DDA) 135 y 225 (15 de Mayo – 13 de Agosto). En este período la precipitación media fue de 0.16 mm, como suele ser habitual en este periodo del año en la zona. La distribución de precipitaciones es la típica del clima Mediterráneo, con lluvias concentradas en primavera y otoño y muy escasas en los meses de verano (donde se concentra la totalidad del ensayo). La Evapotranspiración media ha sido relativamente baja, de 5.85mm en el mes de julio y 5.60mm en agosto.

La figura 1-B representa la precipitación (mm) desde inicios de 2014 hasta finales de la recolección (1 Enero – 9 Septiembre).

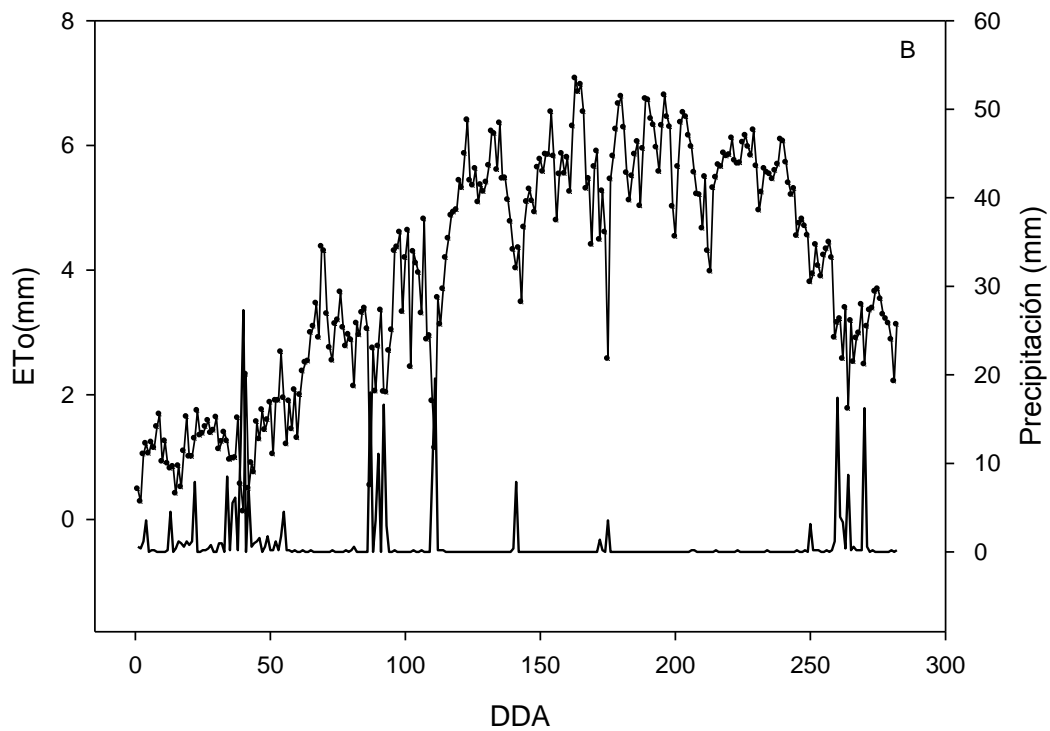
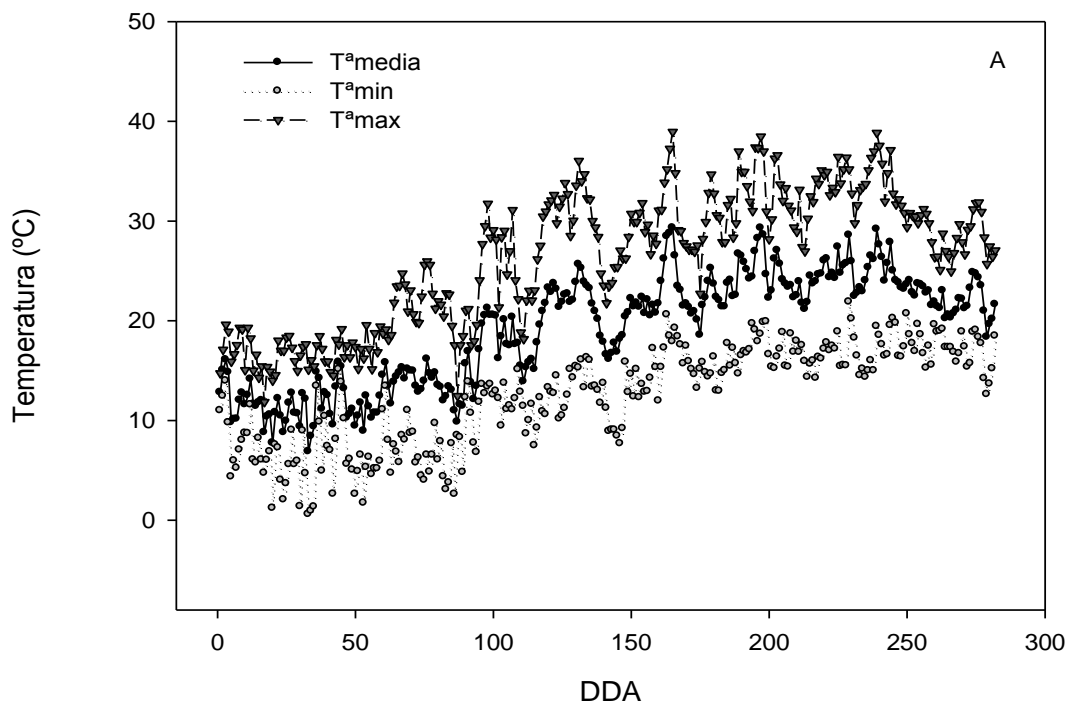


Figura 1. A: Evolución de las temperaturas medias, mínimas y máximas (°C) desde inicios de 2014 hasta septiembre del 2014, en Coria del río (Sevilla). B: Evolución de la precipitación y la ET₀ desde inicios de 2014 hasta finales de la recolección (1 de Enero-9 de Septiembre).

3.1.3. Suelo

El terreno de la parcela donde se ha realizado el ensayo presenta una pendiente aproximada del 3% al 5%, con una profundidad útil para el cultivo que varía entre 0 y 0.3 cm. La textura es arenosa, uniforme en todo el perfil, con un 87% de arena, 1.5% de limo y un 11.5% de arcilla (Tabla 5).

Los análisis en laboratorio indican que el contenido volumétrico de agua en suelo (Θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) es de $0.33 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ para un potencial mátrico (Ψ_m) de 0 MPa (a saturación) y de $0.10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ a -1.5 MPa.

La densidad media aparente de la capa de suelo comprendida entre 0.0 y 0.2 varía entre 1.4 y de 1.7 Mg m^{-3} . Cabe destacar que dicho suelo presenta un contenido en materia orgánica, en torno a 0.96% así como buenos contenidos en fósforo y potasio con valores de 12.9 mg Kg^{-1} (determinado por el método Oslen) y 125 mg Kg^{-1} , respectivamente. El pH es de 8.1 y el contenido en nitrógeno presenta un valor de 500 mg Kg^{-1} (Tabla 4).

Tabla 5. Características más relevantes del suelo “arenoso”

Prof. disp.	pH	Arena	Limo	Arcilla	MO	N	P-Oslen	K
cm		%	%	%	%	mgKg^{-1}	mgKg^{-1}	mgKg^{-1}
0-30	8.1	87.0	1.5	11.5	0.96	500	12.9	121

3.1.4. Material vegetal

En el ensayo llevado a cabo se utilizó la variedad de tomate H-9997. Perteneciente a la empresa Heinz. Caracterizada por su resistencia a *Fusarium*, *Verticilium*, Nemátodos, *Pseudomonassyringae* y *Alternaria*. Es una variedad de rendimientos medio, altos contenidos en licopenos ($15,29 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), contenido en azúcares medio (5°Brix) y consistencia dura, según la caracterización realizada por el Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (2011).

3.1.5. Tratamientos hídricos

Se han aplicada tres tratamientos de riego, se explican a continuación:

- **100% ETc:** este primer tratamiento es el tratamiento control, consistió en la aplicación del 100% de la ETc, teniendo en consideración los coeficientes de cultivo (Kc) de la FAO 56 y la precipitación ocurrida. Para dicho tratamiento se calcularon las necesidades semanalmente.
- **75 % de la ETc:** tratamiento de riego deficitario en el que se aplicó el 75% de la dosis aplicada al tratamiento control.
- **Ψ:** Este tercer tratamiento fue un riego deficitario controlado, en el cuál el riego se estableció en función de las medidas del potencial hídrico de hoja al mediodía solar.

Se establecieron diferentes umbrales de riego, en función del potencial hídrico de hoja, para cada estado fenológico del cultivo:

- ✓ **Desarrollo vegetativo** (desde el trasplante hasta la aparición de la primera inflorescencia con flores abiertas), en esta fase se consideró un umbral de -1 MPa.
- ✓ **Crecimiento de fruto** (desde las primera flores abiertas hasta los primeros frutos rosados), en esta fase consideró un umbral de -0.5 MPa, considerado un estado hídrico óptimo en esta fase, especialmente sensible al estrés hídrico.
- ✓ **Maduración y acumulación de azúcares** (desde la aparición de los primeros frutos rosados hasta la cosecha), en esta tercera y última fase el umbral marcado para regar fue de -0.8 MPa. Que se considera un estrés moderado en esta fase, y ayuda a la acumulación de azúcares en fruto.

El riego se decidió en función de la medida de potencial hídrico media, de los cuatro bloques, y la distancia al umbral establecido.

- Si la reducción era menor al 10%, se empleó una dosis de riego del 25% del riego control.
- Si la medida se encontraba entre el 10-30 %, se aportaba una dosis del 50% del tratamiento control.

- Si la medida de potencial hídrico era un 30% menor del umbral, se regó con el 100% de la dosis del control.

En la tabla 6 se recoge el agua aportada en cada fase del cultivo, para cada tratamiento. Así como el porcentaje relativo que supusieron cada uno de los tratamientos de riego deficitario en cada fase.

Tabla 6. Cantidad de agua aportada durante cada fase del ensayo (DDA: día del año).

Tratamiento de riego	Agua aportada en cada fase, mm			% de agua aportada en cada fase		
	Crecimiento vegetativo	Floración cuajado	Maduración	Crecimiento vegetativo	Floración cuajado	Maduración
100% de ETc	336.9	343.1	96.1	100	100	100
75% de ETc	282.4	222.8	67.3	83.8	64.9	70.1
Ψ	164.2	199.4	6.9	48.7	58.1	7.1

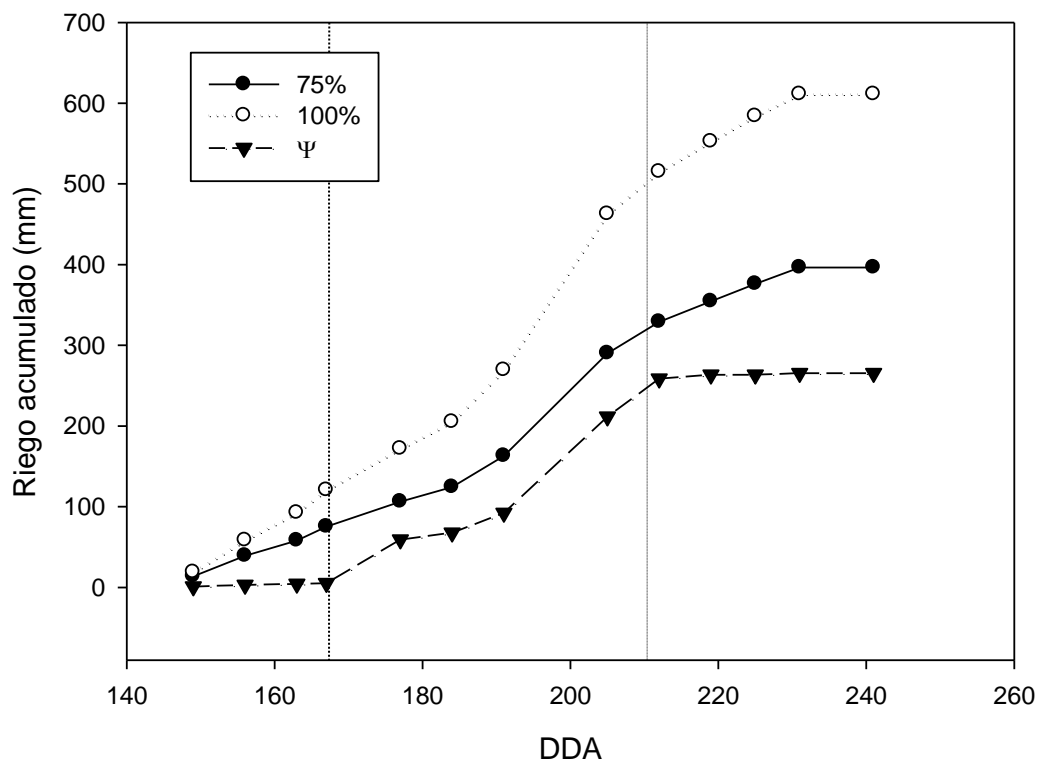


Figura 2. Cantidad de agua acumulada en mm en los tres tratamientos de riego durante el ensayo. Las líneas señalan los cambios de fase: crecimiento vegetativo, floración – cuajado y maduración de frutos.

La figura 2 muestra la cantidad de agua acumulada en mm, aportada a los tres tratamientos de riego durante el ensayo. Durante la fase de desarrollo vegetativo (DDA

119 , 28 de Abril de 2014, al DDA 170, 19 de Junio de 2014), el incremento de agua acumulada (mm) en los tres tratamientos es progresivo y relativamente lento en el tiempo puesto que la restricción moderada del riego en la primera fase de cultivo no afecta en la posterior calidad de la cosecha ni en el rendimiento de la misma; hasta que durante la fase de floración, cuajado y maduración (DDA 170, 19 de Junio de 2014, al DDA 198, 17 Julio de 2014), se riega más abundantemente en los tres tratamientos ya que dicha etapa es muy sensible para el cultivo. Aproximadamente 15 días antes de la recolección (DDA 239, 27 de Agosto de 2014, al DDA 241, 29 de Agosto de 2014), el riego se para en los tres tratamientos, de ahí a que entre el DDA 210, 29 de Julio de 2014 y el DDA 239, 27 de Agosto de 2014, la gráfica se estabilice. Esta práctica se hace con el objetivo de que acumular en los frutos la máxima concentración de azúcares posible.

3.1.6. Medidas meteorológicas

En la Hampa se dispone de una estación meteorológica Campbell (Campbell ScientificLtd, UK), a unos 50 m de la finca experimental. La estación registra, cada 30 minutos, los valores medios, máximos y mínimos de las siguientes variables: temperatura ($T, ^\circ\text{C}$) y humedad relativa del aire (HR%), radiación solar global ($R_{sg}, \text{W m}^{-2}$), radiación fotosintéticamente activa (PAR, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), radiación difusa ($PAR_{dif}, \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), radiación neta ($R_n, \text{W m}^{-2}$), velocidad ($u, \text{m s}^{-1}$) y dirección (d , grados) del viento y precipitación (P , mm). De esta última variable se registran los valores cada 10 minutos. Además de medir estas variables, la estación calcula las siguientes variables: presión de vapor a saturación (P_{sat}, KPa) y déficit de presión de vapor del aire (DPV o D_a, KPa), temperatura de punto de rocío ($T_d, ^\circ\text{C}$) y radiación acumulada total ($R_{acum}, \text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$).

Estos datos nos permitieron caracterizar la climatología ocurrida y calcular las necesidades hídricas del cultivo para nuestro ensayo.

3.2. Diseño experimental

El ensayo se realizó en parcelas distribuidas completamente al azar, el diseño se recoge en la figura 4. Las parcelas asignadas con 100% fueron aquellas que se regaron en base al 100% de la ET_c . Las parcelas con el 75%, fueron las que se regaron en base al 75% de la ET_c y las parcelas designadas con Ψ fueron aquellas que se regaron en

función del potencial hídrico medido en las hojas. (Figura 3). Las parcelas en blanco pertenecen a otros tratamientos de suelo, que no fueron objeto de nuestro estudio.

Las parcelas tenían una superficie aproximada de 87m² con 4 replicados por tratamiento, que hacen un total de 12 parcelas.

Ψ	Ψ	75%ETc	
100%ETc	75%ETc	Ψ	Ψ
100%ETc			75% ETc
	100%ETc		100%ETc
		75%ETc	

Figura 3. Distribución de las parcelas en el ensayo.

La siembra de las plántulas se llevó a cabo el día 28 de abril. La variedad de tomate elegida fue la H-9997, procedente de la empresa Semillero Andaluz S.A, de Los palacios en Sevilla.

Tabla 7. Etapas del ensayo

DDA	FECHA	FASE DEL ENSAYO
100-101	10 - 11 de Abril de 2014	Preparación de parcelas
118	28 de Abril de 2014	Trasplante de plántulas
119-170	29 de Abril – 19 de Junio de 2014	Crecimiento vegetativo
170-198	19 de Junio- 17 de Julio de 2014	Floración, cuajado
210-239	29 de Julio - 27 de Agosto de 2014	Acumulación de azúcares
239-241	27 - 29 de Agosto de 2014	Recolección

La parcela, donde se llevó a cabo el ensayo se preparó convenientemente (Tabla 8): se realizaron varios pases de grada hasta aproximadamente 20 cm de profundidad, retirándose la mala hierba y los restos de cultivos anteriores.

Posteriormente, el 14 de abril se llevó a cabo la fertilización de fondo aplicando 975 kg ha⁻¹ de 15N-15P-15K puesto que la fertilidad de dicho suelo era bastante baja. Después de la fertilización de fondo se prepararon camas de siembras los días 14 y 15 de abril, haciendo un aporcado adecuado para el cultivo: se realizaron camas de 1.55 m de ancho dedicadas a la siembra del tomate. El día 16 de abril se hizo un tratamiento del suelo con Pendimetalina (STOMP AQUA), un herbicida de presembrado.

Entre los días 21-23 de abril se acometió la instalación del riego por goteo.

Tabla 8. Manejo de la plantación de tomate

DDA	LABOR/TRATAMIENTO
100-101	Preparación de parcelas : labor de vertedera y pase de grada
104	Abonado 15N-15P-15K
104-105	Preparación de camas para el tomate : pase de conformador
106	Aplicación de herbicida presembrado : Pendimetalina
118	Trasplante de los tomates
142	Aplicación de Centurión
182	Tratamiento contra eriófidos : Sulfapron
185	Tratamiento contra <i>Tuta absoluta</i> : Altacor
190	Tratamiento contra <i>Vasate (Aculops lycopersici)</i> : Comanche (BASF)
192	Tratamiento contra <i>Tuta absoluta</i> :Affirm
199	Tratamiento contra <i>Tuta absoluta</i> :Alverde
202	Tratamiento contra <i>Vasate (Aculops lycopersici)</i> : Comanche (BASF)
206	Tratamiento contra <i>Tuta absoluta</i> :: Altacor
209	Tratamiento contra eriófidos : Sulfapron
213	Tratamiento contra <i>Tuta absoluta</i> :Affirm
224	Tratamiento contra <i>Tuta absoluta</i> : Alverde

3.2.1. Seguimiento de los experimentos

Al cultivo de tomate se le realizó un seguimiento en el que se tomaron medidas de:

- a) Parámetros de crecimiento vegetativos como cobertura vegetal y altura de la planta.
- b) Parámetros de desarrollo: número de flores y número de frutos por planta.
- c) Parámetros fisiológicos como el potencial hídrico y la conductancia estomática.
- d) Parámetros de calidad del fruto de tomate como ° Brix, licopenos y pH.
- e) Seguimiento contra plagas y enfermedades, según el calendario de la tabla 1.3.

3.3. Medidas en parcela

3.3.1. Medida de la cobertura del suelo

La **Cobertura de suelo** (% de suelo sombreado), se estimó mediante medidas de la radiación interceptada en el suelo, a distintas distancias de la planta. Las medidas se realizaron a la misma hora (11 horas a.m.). Mediante el empleo de una barra de PAR (modelo 191 de LICOR).

El número de medidas tomadas fue de seis por cada parcela, siendo las distancias correspondientes:

- para el inicio del ensayo, cuando las plantas aun eran pequeñas se realizó una medida a una distancia de 10 cm del ramal, una segunda medida a una distancia de 20 cm del ramal y una medida de control;
- a mitad del ensayo, cuando las plantas estaban más o menos desarrolladas se realizaron las mismas medidas pero a distancias de 20 cm y 40 cm, y
- más avanzado el ensayo, las medidas se realizaron a distancias de 40cm y 70cm.

En la última fase del ensayo y debido a la senescencia de las plantas, ya no se realizaron más medidas de cobertura de suelo.



Foto 2. Medida del porcentaje de suelo sombreado con la barra de PAR.

3.3.2. Medida del contenido de agua en suelo

Para medir el volumen de agua en suelo en los primeros 10cm de profundidad se empleó una Sonda TDR (FOM / mts operador de campo para medidas de humedad-temperatura y salinidad).

Se realizaron 4 medidas por parcela. El procedimiento consistía en introducir los dos electrodos en el suelo para medir el volumen de agua en él.

Con estas medidas se podía comprobar aquellas parcelas que estaban recibiendo más agua de riego y aquellas que estaban siendo regadas en función de su potencial hídrico.

3.3.3. Medida del potencial hídrico

Para determinar el **potencial hídrico foliar** (Ψ) se utilizó una cámara o bomba de Scholander (modelo 1000, PMS) usando nitrógeno seco para incrementar la presión dentro de la cámara. Para la realización de las medidas se tuvieron en cuenta las recomendaciones de (Turner 1981).

El potencial hídrico tiene un ciclo diario de caída y recuperación por lo que se hizo una medida al medio día solar para estimar el potencial hídrico mínimo.

Se midió en hojas con un crecimiento medio, las hojas fueron introducidas en una bolsita de plástico durante el trayecto hasta la cámara para evitar la pérdida de agua por transpiración. Las medidas se realizaron en cada tratamiento semanalmente.

3.3.4. Medida de la conductancia estomática

Para realizar la medida de la **conductancia estomática** ($gs, mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) se ha utilizado un porómetro de régimen permanente (SC1 de DECAGON).

Datos previos indican que en ausencia de limitación de radiación, la curva diaria de conductancia estomática es horizontal en torno al valor máximo diario. Por esta razón las medidas de conductancia se realizaron desde las 10 hasta las 12 de la mañana.

Al ser el tomate una especie con estomas en el haz y en el envés, se realizaron dos medidas por parcela experimental en el haz, y otras dos en el envés, tomando para cada medida hojas al azar.



Foto 3. Medida de la conductancia estomática en hoja al mediodía solar.

3.3.5. Medida del crecimiento y desarrollo

Para llevar a cabo la medida del **crecimiento en altura** de las plantas se tomaron 5 plantas al azar por parcela semanalmente.

Con respecto a las medidas del desarrollo, el **número de inflorescencias** se contabilizó realizando una rápida visión global y viendo si había más de cinco, más de diez o más de veinte inflorescencias abiertas o cerradas en 5 plantas de cada parcela.

En cuanto al **número de frutos** se llevó a cabo un conteo para ver si había o no frutos cuajados en 5 plantas de cada parcela tomadas al azar.

También se realizó un seguimiento del **crecimiento del fruto y color** de forma periódica tomando 5 frutos de terceros racimos de tallos principales, por parcela de plantas al azar y llevando un control de sus pesos y colores para conocer el momento óptimo de la cosecha.



Foto 4. Medición de la altura de las plantas.

3.3.6. Cosecha

En el momento en el que se alcanzó la madurez total del fruto se realizó la cosecha, momento en el que peso la producción total de 3 metros lineales, de los dos lomos centrales de cada parcela.

La cosecha de los tomates se realizó entre los días 27 y 29 de agosto de 2014. Se pesaron los tomates maduros que son aquellos que presenta un color rojo intenso y uniforme; los inmaduros, que son los que aún no han adquirido el color rojo de los tomates maduros y presentan entre un 30-50% de tonalidades verdosas; y los desechables, que son los tomates que han sufrido daños y no son óptimos para su comercio.

De cada parcela se seleccionó una muestra representativa de 25 tomates maduros comerciales que se pesaron para estimar el peso de la unidad de fruto.



Foto 5. Recolección de las parcelas.

En las muestras de tomates maduros, además, se analizaron los parámetros de calidad más importantes en el tomate:

- **Firmeza:** La firmeza del fruto se midió usando un Penetrómetro FORCE GAUGE (PCE-FM200). Se realizaron tres medidas por parcelas. Una vez medida la firmeza se trituraron los tomates (20 de cada parcela) y en el jugo se realizaron las siguientes determinaciones:
- **Contenido en sólidos solubles:** Es un parámetro que informa sobre la cantidad de azúcares del fruto del tomate, se determina por la medida de los grados Brix, que es el índice que más influye sobre el rendimiento de la fabricación puesto que el objetivo del proceso de transformación es aumentar la concentración en sólidos solubles hasta los límites requeridos por la legislación (Ciruelos et al, 2008).

La mayoría de las variedades contienen entre 4.5 y 5.5 ° Brix, aunque más que el carácter varietal, lo que influye sobre el contenido en sólidos solubles son factores agrológicos, especialmente la climatología durante el período de maduración y el riego (Ciruelos et al,2008).

Para esta medida se ha usado un refractómetro de mano (ZaZi serie 300) de rango Brix entre 0-32%.

- **pH:** La medida del pH informa sobre la acidez del tomate. El pH del zumo se sitúa normalmente entre 4.2 y 4.4. Si en algún caso el pH es superior a los valores indicados, se pueden presentar problemas en el procesado, siendo necesario acidular el zumo (Bilton et al ,2001).

Este valor de pH entre 4.2 y 4.4, hace que el tomate sea un producto relativamente frágil de manejar a nivel industrial. Su bajo pH lo hace atractivo a la contaminación microbiana siendo suficiente la pasteurización para su envasado tras el proceso de concentrado (Burgeois et al ,2002).

Para la medida del pH se ha usado un pH-metro (CRISON micro pH con compensación automática de la temperatura).

- **Contenido en licopenos:** Los licopenos son unos pigmentos vegetales, solubles en grasas, que aporta el color rojo característico a los tomates y a otras frutas y verduras. Pertenecen a la familia de los carotenoides y posee propiedades antioxidantes que actúan protegiendo a las células del organismo del estrés oxidativo producido por los radicales libre(Ciruelos et al.2008).

La extracción de licopenos se realizó mediante disolventes orgánicos y la cuantificación de los mismos se llevó a cabo mediante medida espectrofotométrica (Ciruelos et al, 2008).

3.4. Análisis datos

Los datos fueron procesados mediante el programa “Statistix 8”. Se realizó un análisis de varianza, y un test de separación de medias, con el test de Turkey, para un nivel de confianza de los resultados del 95%.

Las gráficas fueron realizadas con el programa “SigmaPlot 11.0”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4 se ha representado el contenido de agua en el suelo durante el periodo estudiado, expresado en volumen ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). El contenido de humedad del suelo respondió a los tratamientos de riego aplicados, mostrando diferencias en el tiempo en función de las cantidades de agua aplicada en los distintos periodos del cultivo (Fig. 4).

Al inicio del ensayo el día del año (DDA) 135 (15 de mayo de 2014), los tres tratamientos tuvieron un nivel de agua similar en el suelo alrededor de $8 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Debido a dos episodios de lluvias intensas registradas sobre finales del mes de abril y finales del mes de junio (periodo comprendido entre el DDA 112 y DDA 148) (Fig.2), el contenido de agua en el suelo aumento en los tres tratamiento. A partir de ese momento el contenido de agua en el suelo se redujo poco a poco, desde el DDA 148 hasta el DDA 178, manteniéndose siempre un mayor volumen de agua en suelo en el tratamiento del 100% de la ETc. De modo que al principio del ensayo no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, pero a medida que el ensayo avanzó, comenzaron a aparecer las primeras diferencias entre los tratamientos de potencial hídrico (Ψ) y 75% de la ETc por una parte (con valores similares) y el tratamiento de 100% de la ETc por otra. Dichas diferencias fueron altamente significativas el DDA177 (26 de junio de 2014), en el que el tratamiento de potencial hídrico (Ψ) alcanzó el valor más bajo de humedad en el suelo con un de $7.6 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, después de un periodo con una reducción importante del aporte hídrico, ya que durante esta primera fase el agua aplicada fue de un 48% del agua aplicada al tratamiento control (100% de la ETc), sin embargo el tratamiento 75% de ETc no se distanció mucho, a pesar de haber recibido una mayor cantidad de riego. A partir del DDA 177 los contenidos en humedad del suelo se recuperan lentamente en todos los tratamientos, manteniéndose las diferencias significativas en la siguiente medida tomada el DDA 184.

En la recta final del ensayo cabe destacar que el tratamiento del 75 % de la ETc, a pesar de que recibió más agua de riego que el Ψ (un 25% más), mantuvo su contenido de agua en suelo ligeramente por debajo del tratamiento potencial (Ψ) con una leve recuperación en torno a la última etapa del ensayo (DDA191, 10 de julio de 2014), de lo que se deduce que el tratamiento potencial (Ψ) se ajustó mejor a las necesidades hídricas del cultivo.

Al final del cultivo se produjo una caída de humedad en el suelo, provocada por la restricción de riego realizada en la última fase, que se registró en la última medida. Esta es una práctica habitual para conseguir un incremento de azúcares en los frutos antes de la recolección. La disminución en el tratamiento de potencial (Ψ) fue estadísticamente significativa, como muestra la media del DDA 240, en la fase de maduración este tratamiento solo recibió un 7% de la dosis de agua recibida por el tratamiento control.

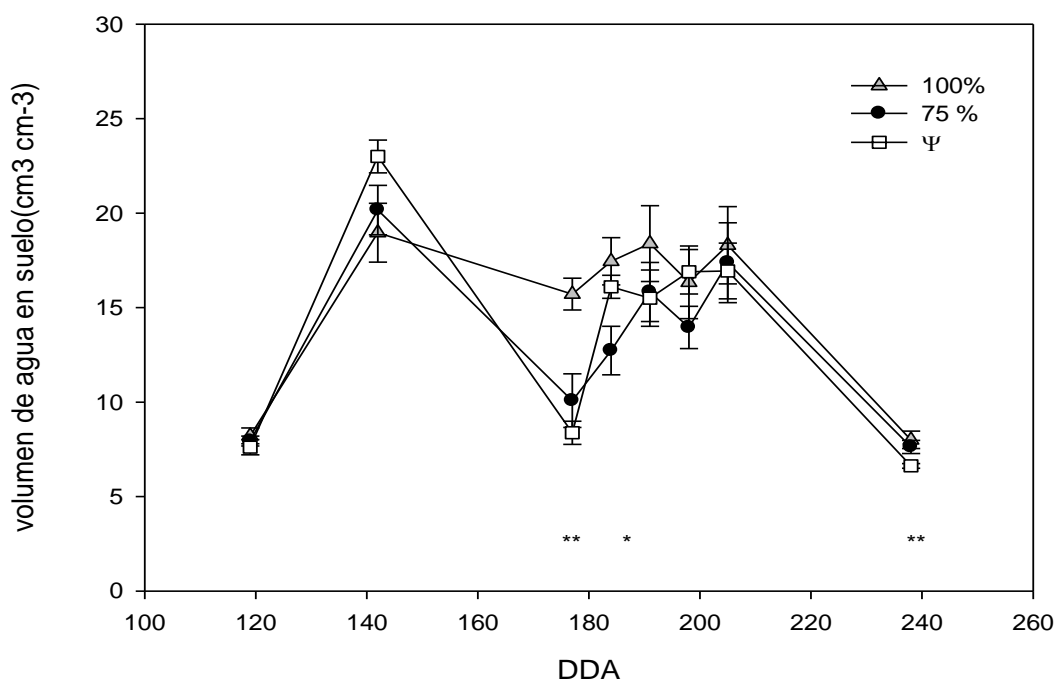


Figura 4. Evolución del contenido de agua en el suelo en los primeros 10cm de profundidad. Cada punto es la media de 4 datos. Las barras verticales indican el error estándar. Las estrellas muestran los días en los que hubo diferencias significativas (** altamente significativas $p < 0.01$ y * significativas $p < 0.05$, Turkey).

La figura 5 representa el potencial hídrico de la planta medido en hoja al mediodía solar. Al principio del ensayo podemos ver valores altos de potencial hídrico foliar en los tres tratamientos de riego, se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos, con valores sobre -0.25MPa en el tratamiento del 75% de la E_{Tc} y en torno a -0.35MPa para los tratamientos del 100% de la E_{Tc} y potencial (Ψ).

A partir de ahí, el potencial hídrico en hoja decrece en los tres tratamientos, siendo este descenso notablemente más acusado en el tratamiento Ψ , hasta alcanzar su valor mínimo registrado de -1.1MPa con altas diferencias significativas con respecto a los

otros dos tratamientos que registraron valores de -0.55MPa en el tratamiento del 75% de la ETc y -0.76MPa en el tratamiento del 100% de la ETc, como consecuencia de la restricción del riego, y las condiciones climáticas ocurridas entre los DDA150 y 170. Podemos considerar que el tratamiento potencial (Ψ), supuso una disminución importante en el potencial hídrico de las hojas, que otros autores como Fortes et al (2013) consideran de estrés. Mientras los tratamientos de 75% y 100% de ETc, alcanzaron valores de potencial descritos como de estrés ligero (0.6 a 0.8MPa), de manera muy puntual en la fase final del desarrollo vegetativo, vinculadas a las exigentes condiciones climáticas.

Posteriormente, con el inicio de la floración, se produjo una recuperación considerable del potencial hídrico foliar en los tres tratamientos, respondiendo al aporte de riego realizado, comportamiento similar al descrito en otros ensayos en los que la recuperación del estado hídrico de las plantas es rápido, después de un suceso de estrés durante el desarrollo vegetativo del cultivo (Fortes et al 2013), incluso con niveles de estrés mayores (alcanzando valores de potencial hídrico en hoja de -1.8MPa) la recuperación observada es prácticamente inmediata.

La recuperación en nuestro ensayo llegó incluso a suponer una mejora en el estado hídrico del tratamiento potencial (Ψ), alcanzando valores en torno a -0.55MPa , superiores a los de los tratamientos de 100% y 75% de ETc. Durante la fase de floración, cuajado y maduración de los frutos (desde el DDA177 hasta el DDA225) los tres tratamientos se mantuvieron en medias similares sin mostrar diferencias significativas entre ellos. Salvo la medida realizada el DDA 191 en la que el tratamiento de 100% de ETc mostró diferencias significativas con respecto a los otros dos tratamientos de riego, 75% ETc y potencial (Ψ), que disminuyeron su potencial hídrico a valores de -0.69 y -0.64MPa respectivamente. Valores que mostraron un estrés ligero relacionado con la subida de las temperaturas, ETc y DPV ocurrida en ese periodo, que unido al descenso del agua disponible en el suelo, supuso un empeoramiento del estado hídrico del cultivo. En la recta final del ensayo se produjo un ligero incremento de los valores de potencial en los tres tratamientos (-0.5MPa) el DDA212 (31 de julio de 2014), seguido de un descenso generalizado, que se apreció algo más acusado en el tratamiento potencial (Ψ), sin que se observaran diferencias estadísticamente significativas.

El estrés hídrico alcanzado por el cultivo en el tratamiento potencial (Ψ) no se vio reflejado en una disminución de la producción del cultivo, como veremos más adelante, con lo que podemos considerarlo un umbral de riego adecuado durante esta fase del cultivo. Trabajos anteriores han situado valores umbrales durante el desarrollo vegetativo en -0.8MPa (Ngouajio et al, 2006; Fortes et al, 2013; Zegbe et al, 2005). Consideramos que puede emplearse un umbral de -1.1MPa , ya que se apreció un descenso en el crecimiento vegetativo, concretamente en la altura de la planta, aunque no en el desarrollo aéreo del cultivo, medido a través de la cobertura del suelo como se verá más adelante. Permitiendo un ahorro de agua con respecto al tratamiento control de un 52% en la fase de desarrollo vegetativo, un 42% en la de floración, cuajado y crecimiento de frutos y un 93% en la fase de maduración (Tabla 6, material y métodos).

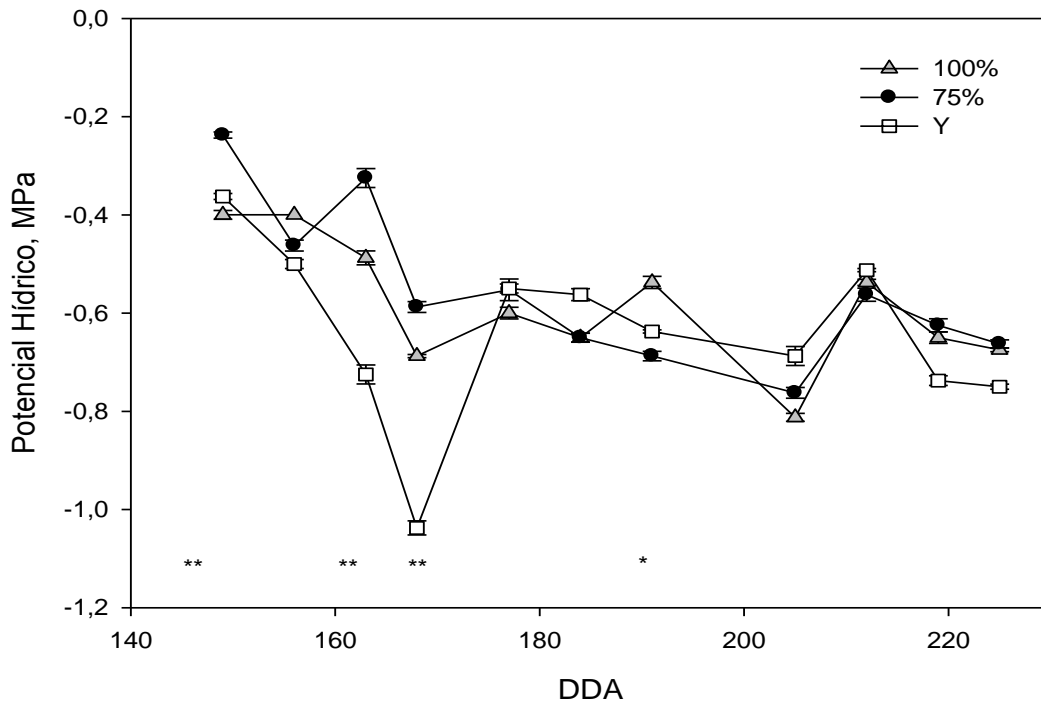


Figura 5. Evolución del potencial hídrico en hoja, medido al mediodía solar durante el período del ensayo. Cada punto es la media de 4 medidas en cada tratamiento. Las estrellas muestran los días en los que hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos (** altamente significativas $p < 0.01$, * significativas $p < 0.05$). Las barras verticales indican el error estándar.

La evolución de la conductancia estomática al inicio del desarrollo del cultivo, en el envés fue ascendente en los tres tratamientos, durante el primer periodo de cultivo no existieron diferencias significativas, aunque se apreciaron en las medidas de los

DDA168 y 177 valores más bajos en el tratamiento de potencial (Ψ), coincidiendo con la restricción hídrica aplicada en este tratamiento de riego durante esta primera fase (Fig. 6).

Los valores máximos de conductancia estomática se observaron el DDA 192 para el tratamiento de potencial (Ψ) y 100% de ETc con valores muy elevados, con una media de $700 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. El tratamiento de 75% de ETc se mantuvo ligeramente más bajo para este mismo día con un valor de aproximadamente $400 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A partir de ahí la evolución de la gráfica fue decreciente para los tres tratamientos manteniéndose siempre en los valores más altos el tratamiento de potencial (Ψ) y por debajo el tratamiento del 75 % de ETc.

En la última fase del ensayo, se produjo de nuevo un aumento en la conductancia del envés en el tratamiento de potencial (Ψ) y de 100% de la ETc llegando a alcanzar valores de $420 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, frente al tratamiento de 75% de la ETc, que sigue su evolución decreciente hasta valores de $210 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

De modo que en general es el tratamiento de potencial (Ψ) el que mantuvo niveles de conductancia estomática en el envés por encima de los tratamientos de riego de 100% y 75% de la ETc, a pesar de mostrar valores de potencial hídrico algo menores y menor contenido de agua en suelo. No se apreciaron diferencias significativas en ninguna medida realizada, a excepción del DDA 208, que corresponde al 24 de julio de 2014, en el cuál existieron diferencias estadísticas, con medias muy distantes en los tratamientos, con valores de 576.53, 443.48 y $386 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ en potencial (Ψ), 100 % y 75 % de ETc respectivamente, coincidiendo con la maduración de los frutos y un decaimiento generalizado del cultivo.

La figura 7 muestra las mediciones de la conductancia estomática en el haz de la hoja. Se observó un comportamiento similar al del envés, en esta ocasión con valores de conductancia menores. De nuevo no existieron diferencias significativas entre ninguno de los tres tratamientos durante todo el ensayo. Salvo el DDA 172, en el que sí aparecieron diferencias entre los tres tratamientos, coincidiendo con los valores más bajo de potencial hídrico registrados en el tratamiento de potencial (Ψ), al final de la fase del crecimiento vegetativo, en la que se aplicó un mayor nivel de estrés hídrico.

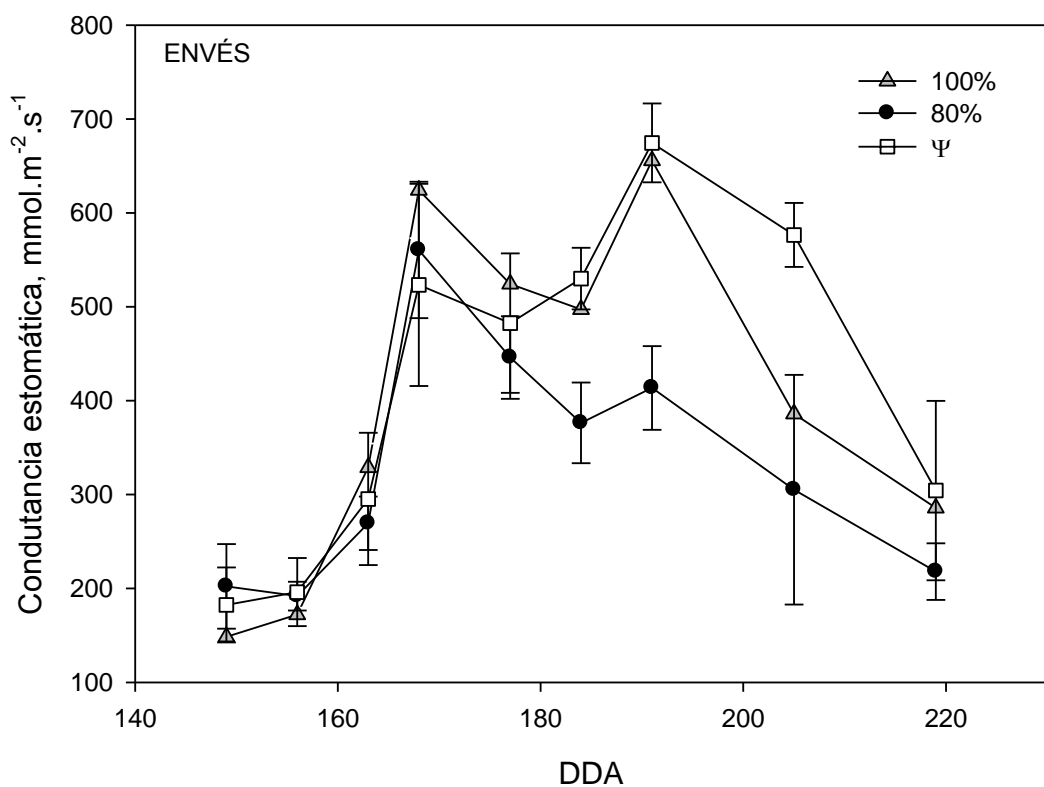


Figura 6. Evolución de la conductancia estomática en el envés de la hoja. Cada punto es la media de 4 datos en cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Las estrellas muestran los días en los que hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos (* significativas $p < 0.05$).

Al inicio del ensayo los tres tratamientos mostraron una tendencia creciente hasta registrar su máximo el DDA 172, con valores en torno a $550 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para el tratamiento del 100% y del 75% de ETC, manteniéndose ligeramente por debajo el tratamiento de potencial (Ψ) con valores de $300 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Fig. 7). La reducción en la conductancia estomática del haz de la hoja en el tratamiento de potencial (Ψ) sufrió una restricción mayor que la del envés (Fig.6), en el periodo de menor riego aplicado, durante la segunda parte de la fase de desarrollo vegetativo.

Al final del ensayo se produce un incremento en los valores de la conductancia en el tratamiento del 75% de la ETC y del potencial (Ψ) alcanzando los $450 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ y el tratamiento del 100% de la ETC desciende hasta valores de $200 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

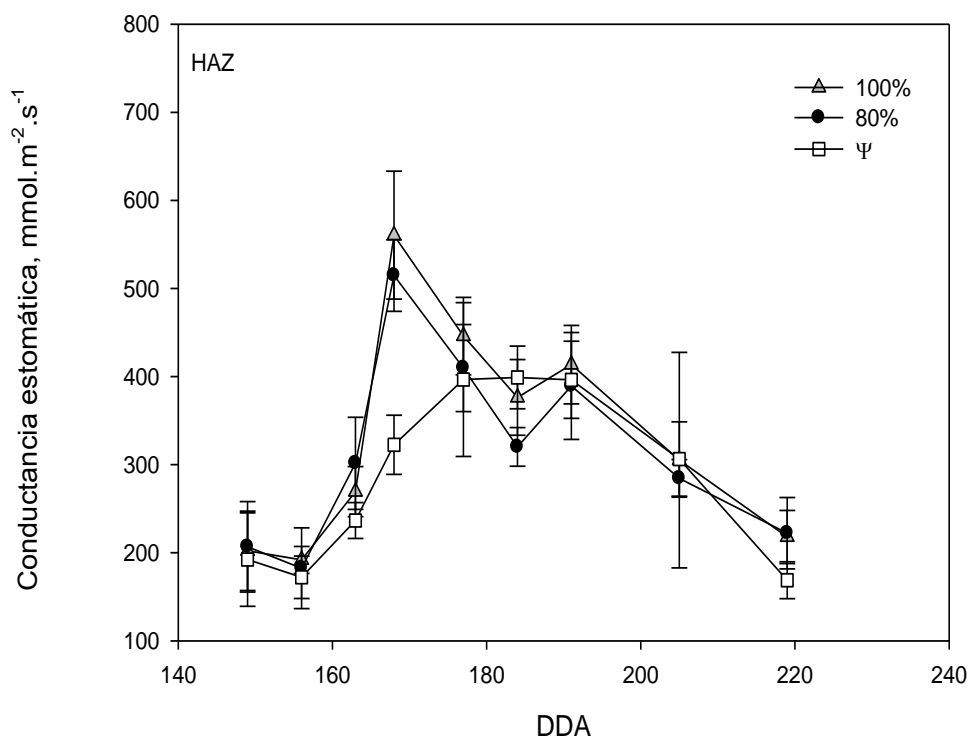


Figura 7. Evolución de la conductancia estomática en el haz de la hoja. Cada punto es la media de 10 datos en cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar.

La Figura 8 presenta los datos de la integral de estrés durante toda la fase de desarrollo vegetativo, floración-maduración y la total. La integral de estrés hídrico antes del DDA177 fue significativamente diferente entre los tratamientos de 75% de ETc y potencial (Ψ). Los valores obtenidos en este periodo de tiempo tuvieron como máximo valores alrededor de 18MPa*día para el tratamiento potencial (Ψ) y en torno a 11MPa*día para el 75% de ETc. En el segundo periodo de cultivo (floración-maduración) no aparecieron diferencias significativas, y los valores alcanzados estuvieron en todos los casos entorno a 18MPa*día

Cuando se considera el total del período experimental, se observaron de nuevo diferencias significativas entre los tratamientos 75% de ETc y potencial (Ψ). Los valores totales del 75% de ETc estuvieron en torno a 30MPa*día mientras que los de los potenciales (Ψ), continuaron aumentando hasta valores superiores a 36.5MPa*día. El uso de una medida como la integral de estrés permite considerar los efectos de duración y nivel del estrés. En este aspecto, un valor de 36.5MPa*día podemos afirmar

que no afectó a la producción y calidad del cultivo. No obstante serían precisos estudios posteriores que pudiesen verificar este valor. No existen referencias anteriores en tomate, aunque si en otros cultivos, en los que valores de la integral de estrés se han relacionado con las características organolépticas (Moriana et al 2007) y el contenido de aceite en olivo (Moriana et al., 2012). Incluso este último trabajo incluyendo datos de localidades y variedades diferentes (Moriana et al., 2012).

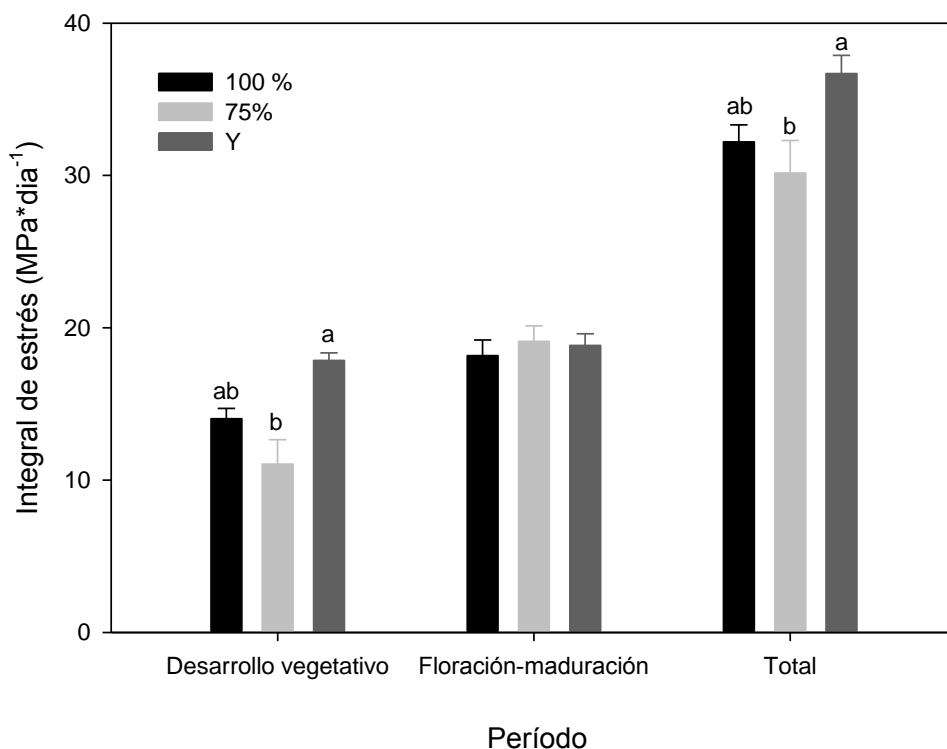


Figura 8. Integral de estrés durante tres periodos; Desarrollo vegetativo del cultivo: 145-177DDA; Floración, cuajado y maduración de los frutos: 177-225DDA; y la integral de estrés acumulada durante todo el periodo estudiado. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$, Test de tukey). Las barras verticales indican el error estándar.

En la figura 9, se representan los datos obtenidos de la altura de las plantas (cm) a lo largo del ensayo. Se aprecia perfectamente la evolución del crecimiento de las plantas en los tres tratamientos. En la primera medida realizada el DDA135, 15 de mayo de 2014, transcurridos 17 días desde el trasplante, las plantas alcanzaron una altura aproximada de 20 cm sin haber diferencias significativas entre los tres tratamientos. A partir de ahí la evolución del crecimiento en altura del cultivo fue en aumento en los tres tratamientos con valores de crecimiento similares, aunque las plantas del tratamiento del potencial (Ψ) experimentaron una reducción respecto del resto de los tratamientos

de riego, alcanzando unos 37 cm de altura para el DDA 178, coincidiendo con el inicio de la floración, mientras que las plantas de los tratamientos de 75% y 100% de ETc alcanzaron una media de 42 cm de altura para esta misma fecha. Posteriormente estas diferencias se acentuaron, mostrándose ya diferencias estadísticamente significativas en la siguiente medida realizada el DDA 185 en la que el tratamiento potencial (Ψ) alcanzó una media de 39 cm de altura, mientras los tratamiento de 100%, y 75% de ETc alcanzaron 57 y 55cm respectivamente.

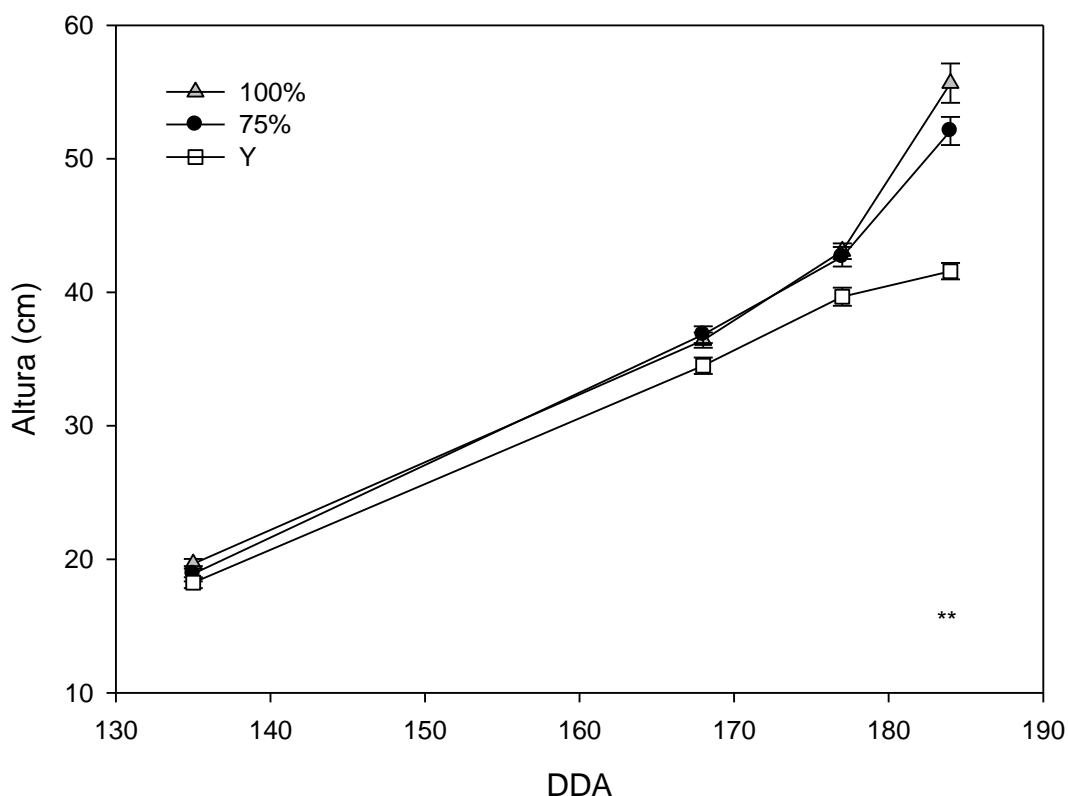


Figura 9. Evolución de la altura de la planta. Cada punto es la media de 48 datos por tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Las estrellas (**) representan los días que hubo diferencias altamente significativas ($p < 0.01$, Turkey).

Trabajos anteriores han mostrado como el déficit hídrico afecta negativamente al crecimiento vegetativo, y al desarrollo del cultivo, sin afectar de manera acusada al crecimiento radicular en tomate (Balaguera et al 2008). En nuestro caso ha sido el parámetro que junto con el potencial hídrico de hoja (Fig. 5) y la conductancia estomática del haz (Fig. 7), mostró mayor sensibilidad al déficit hídrico. Es posible que no llegara a afectarse el crecimiento de las raíces (parámetro no medido) y esto

permitiera la rápida recuperación observada con los riegos aportados posteriormente, de modo que podría explicar por qué en términos generales no se observó un efecto sobre la cobertura del cultivo, el desarrollo de flores y frutos y la producción.

La figura 10 representa la evolución del porcentaje de sombreado del cultivo a lo largo del ensayo. Al comienzo, en los tres tratamientos, las plantas de tomate eran muy pequeñas (el trasplante se hizo el día 29 de Abril que corresponde al día 119, y las primeras medidas se hicieron los días 15 de Mayo; día 135, y día 23 de Mayo, día 143, y por tanto el porcentaje de sombreado era muy bajo, con unos porcentajes entre 0 y 10%.

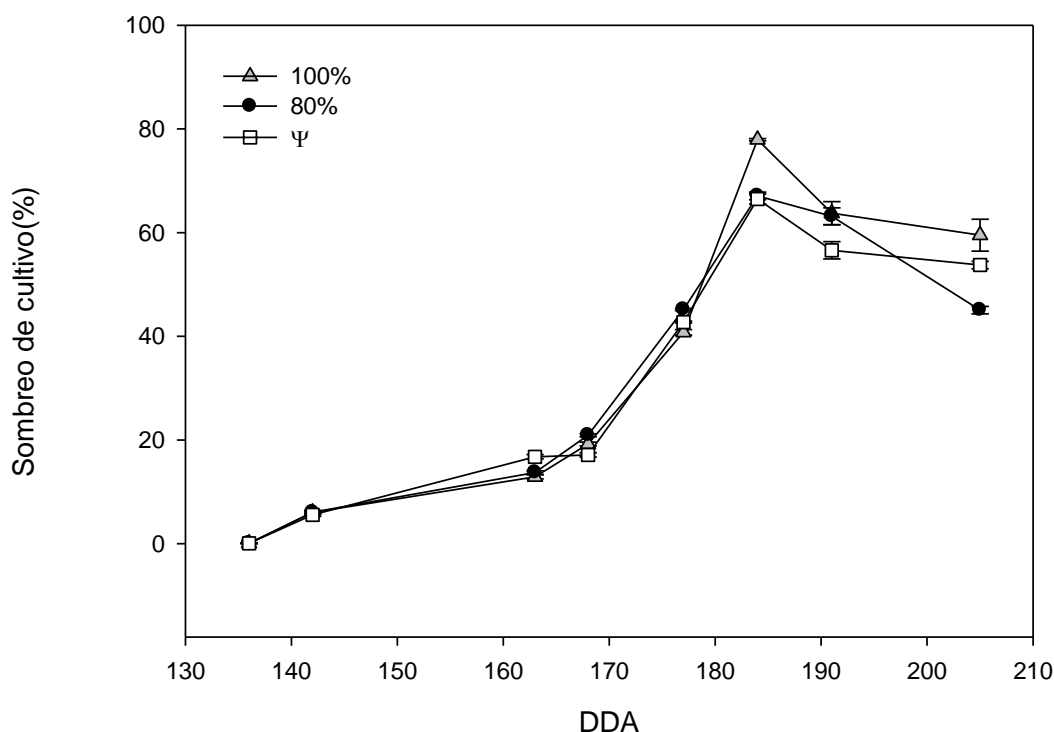


Figura 10. Evolución del porcentaje de sombreado del cultivo a lo largo de período del ensayo. Las barras verticales indican el error estándar. Las estrellas representan los días que hubo diferencias significativas (* diferencias significativas $p < 0.05$).

A medida que el cultivo crecía en altura y que el número de ramas se incrementaba y por consiguiente el número de brotes, cada planta sombreaba mayor porcentaje de suelo, sin apenas apreciarse diferencias en los tres tratamientos, se alcanzó un 20 % cobertura de suelo el DDA170. A diferencia de otro estudio realizado en Extremadura en los que al evaluar el porcentaje de suelo sombreado observaron una gran diferenciación en la cobertura vegetal de los tratamientos más deficitarios, 25% de

las necesidades hídricas, comparado con los tratamientos que recibieron un 50% y un 100% de las necesidades hídricas.

En nuestro ensayo, a partir del DDA 170 se produjo un incremento considerable de crecimiento de las plantas en los tres tratamientos lo que se tradujo en un mayor porcentaje de suelo sombreado para dichos tratamientos de forma similar llegando hasta un 70 % de suelo sombreado en el tratamiento del 100% de la ETc y un 65% de suelo sombreado para los otros dos tratamientos, siendo además estos valores los máximos alcanzados en todo el ensayo. Luego, coincidiendo con el inicio de la senescencia de las plantas, y la maduración de los frutos, la cobertura del suelo se redujo en los tres tratamientos hasta valores de 60% para el tratamiento del 100% de la ETc y 45% para el tratamiento del 75% de la ETc. Cabe destacar que en la última etapa del ensayo el porcentaje de suelo sombreado en el tratamiento potencial (Ψ) fue mayor al tratamiento del 75% de la ETc a pesar de que éste último recibiera un 70% del aporte hídrico del control (100%ETc), frente al 7% que recibió el tratamiento de potencial (Ψ). En cualquier caso no se observaron diferencias significativas en la cobertura de suelo del cultivo con los tres tratamientos hídricos empleados.

La figura 11 representa los datos de la evolución del peso de los frutos (g) a lo largo del período experimental. Como muestra la figura 11, durante todo el ensayo, el peso de los frutos entre los tres tratamientos en cada día de medida, fue similar, sin mostrar diferencias significativas entre ninguno de ellos. Aunque los frutos del tratamiento del 100% de la ETc, en la etapa intermedia del ensayo, se mostraron ligeramente mayores que los dos tratamientos deficitario (desde el DDA197 al 214), a pesar de que esta tendencia desapareció en el momento de la recolección.

En trabajos anteriores realizados en la comarca del Bajo Guadalquivir para analizar el comportamiento productivo del tomate de industria de la variedad “Juncal” con tratamientos de riego deficitario, si se aprecia una tendencia de menor peso de fruto con un riego deficitario de 73% de la ETc, en comparación con el control (100% de ETc) y un segundo riego deficitario del 88% de la ETc, aunque no mostraron tampoco en ese ensayo diferencias significativas (Salvatierra et al, 2007). De igual modo se observó en el trabajo realizado por Topcu et al (2007) en cultivo de tomate en invernadero, variedad “Fantastic”, con distintos tratamientos de riego deficitario, en este caso reduciendo la dosis de riego a un 50% de ETc, tampoco se observaron diferencias en tamaño de fruto.

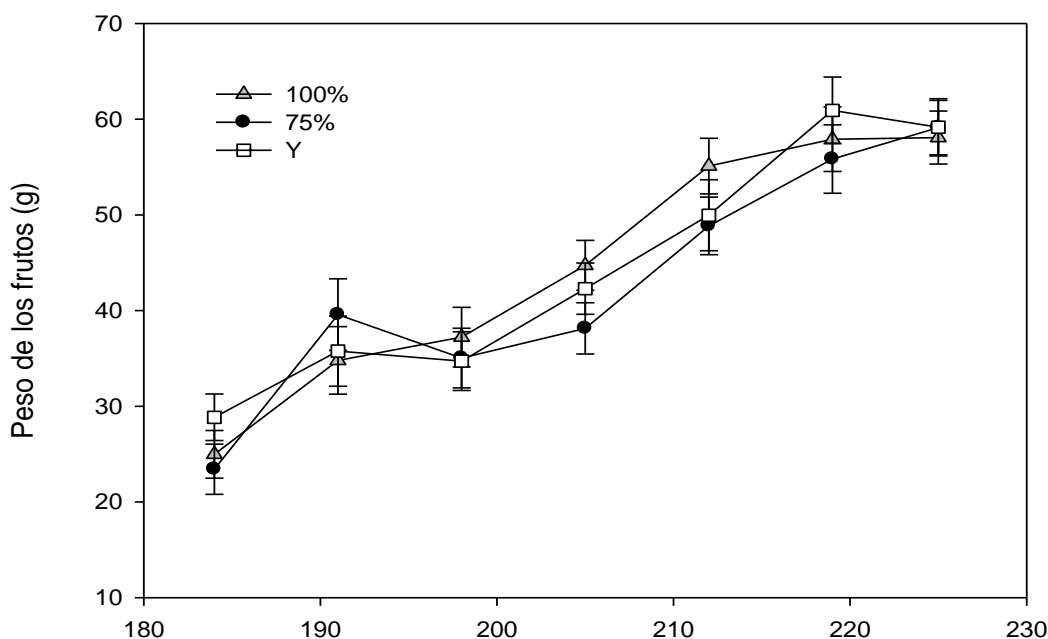


Figura 11. Evolución del peso de los frutos. Cada punto es la media de 20 datos por tratamiento. Las barras verticales muestran el error estándar. No hubo diferencias significativas ningún día para los tres tratamientos.

En el inicio de nuestro ensayo, el peso de los frutos en los tres tratamientos fue muy similar con valores entre 25 y 27 gramos. Luego se produjo un incremento notable del peso de los frutos (DDA 193) para luego descender (DDA 198) y a partir de ahí seguir la tónica de aumento. Posiblemente este incremento en el peso de los frutos tan marcado en el segundo día de medidas de este parámetro, junto al elevado error estándar de esta medida está relacionada con el criterio empleado para la selección de los frutos, que fue el de seleccionar 5 frutos al azar por parcela, en terceros racimos de tallos principales de la planta. Aun así, de ahí en adelante los datos fueron concordantes y se observó un aumento paulatino de los frutos en los tres tratamientos manteniéndose el tratamiento del 100% de la ETc ligeramente por encima de los otros dos tratamientos hasta el DDA 214, medida en la que destacaron los frutos del tratamiento potencial (Ψ) alcanzando mayor peso con 63 gramos en el DDA 220. Para finalizar los tres tratamientos de riego con valores medios de peso de frutos de unos 60 gramos como se observa en la figura 10.

En la figura 12 se observa la evolución del color de los frutos a lo largo de la fase de maduración, siguiendo la escala de la USDA. Se apreció una evolución ascendente en el color, aunque de nuevo este parámetro mostró una gran variabilidad, como el peso de fruto, probablemente relacionado con el tipo de muestreo realizado, tal vez valdría la pena fijar un criterio más claro, para hacer un seguimiento del mismo tipo de fruto dentro del racimo, y obtener una evolución más ajustada al desarrollo de la maduración de un fruto.

A pesar de ello, se puede apreciar en la figura 12 un aumento del color paulatino en todos los tratamientos, salvo el riego deficitario del 75% de la ETC que sufre una subida acentuada en la medida realizada el DDA 198, en la que aparecen diferencias estadísticamente significativas, entre este tratamiento y el resto, pero en la siguiente medida realizada el DDA 205 aparece una bajada sustancial, que posteriormente se recuperó al mismo ritmo del resto de los tratamientos.

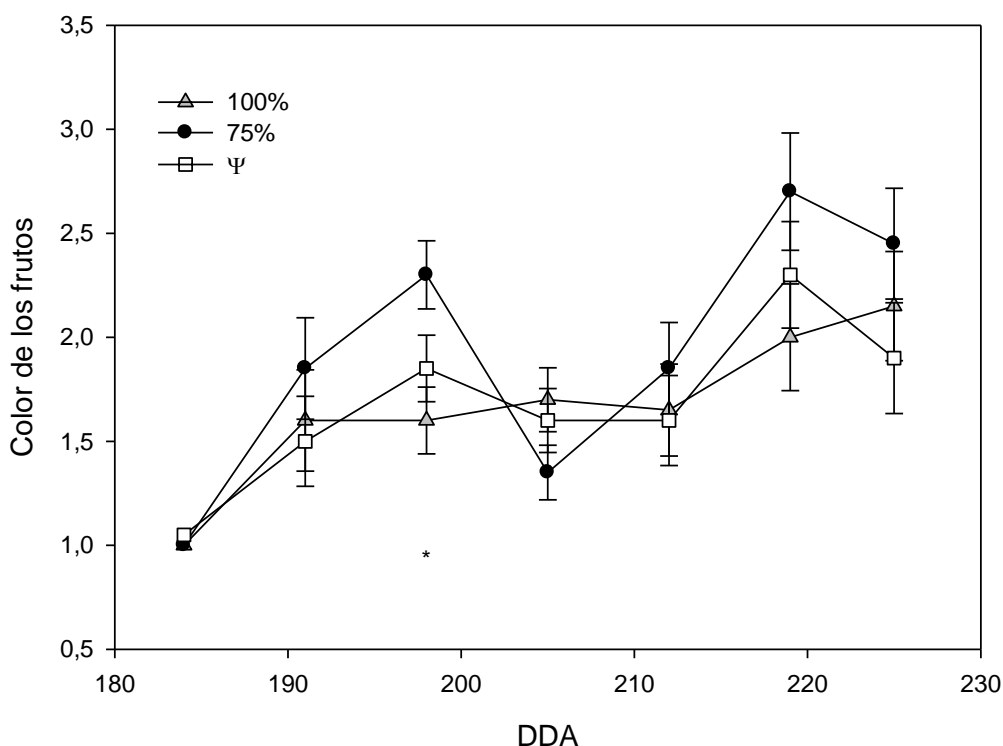


Figura 12. Evolución del color en frutos. Cada punto es la media de 20 datos por tratamiento. Se ha seguido la escala USDA para medir el color de los frutos. Las barras verticales indican el error estándar. Las estrellas indican los días en los que hubo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0.05$, Turkey).

Cabría haber esperado una mayor intensidad en el color de los tratamientos de riego deficitario, como han observado autores como Polupol et al (1996), aplicando niveles de estrés en torno a -1 y -1.2 MPa durante la floración y el cuajado. En nuestro caso realmente el estado hídrico del cultivo en los tres tratamientos durante la fase de maduración de los frutos fue muy similar, como muestran los datos de conductancia estomática (Fig 6 y 7) y potencial hídrico en hoja (Fig. 5).

La tabla 9 muestra los resultados de producción del ensayo en cosecha. Se obtuvieron rendimientos que podemos considerar adecuados, similares a los obtenidos en la región en este tipo de cultivo, con dotaciones de agua similares a las empleadas en el presente trabajo. Como los obtenidos por Fortes et al (2013) en Extremadura con la misma variedad (H9997), que oscilan los 90 y 110 t.ha⁻¹. O los obtenidos en la RAEA 2007 con unos rendimientos para la misma variedad de nuestro ensayo oscilaron entre 45 y 110 t.ha⁻¹ dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y la localidad del ensayo, aunque la media de todos los ensayos fue de 101 t.ha⁻¹ y de 115 t.ha⁻¹ en 2008. En este último caso no aparecen los diferentes ensayos disgregados. Como media estos valores son superiores a nuestros rendimientos, que probablemente estuvieron muy influenciados por la climatología ocurrida durante el año, de temperaturas más suaves (media de 30°C, mientras en los trabajos mencionados las medias de julio y agosto están en 33 y 34°C respectivamente).

Los rendimientos (expresados en t.ha⁻¹) no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos de riego aplicado (Tabla 9). Aunque sí se aprecia una tendencia decreciente en los tratamientos de riego deficitario. El tratamiento que obtuvo mayores t.ha⁻¹ fue el del 100% de la ETc con una media de 94.91 t.ha⁻¹, seguido del tratamiento potencial (Ψ) con una media de 88.57 t.ha⁻¹, y por último con un 81.75 t.ha⁻¹ el tratamiento del 75% de ETc. A pesar de que el tratamiento de 75% de ETc recibió dotaciones de agua mayores (Tabla 1), mientras el tratamiento de potencial (Ψ) con un 53% de la ETc ha mostrado valores de rendimiento más elevados, y menos variables, como muestra el menor error estándar. Consideramos necesario continuar estudiando el efecto de los tratamientos deficitarios en diferentes campañas, especialmente el riego deficitario controlado empleado en el tratamiento potencial (Ψ) ya que el efecto producido por el estrés hídrico en la fase de desarrollo vegetativo no afectó a la producción obtenida. Permitiendo un ahorro importante de agua. Como ya planteaba el trabajo de Zegbe et al (2005), a pesar de que en su caso la reducción de la

aportación hídrica durante la fase de desarrollo vegetativo fue de tan solo un 6%, y en el presente trabajo se alcanzó una reducción del 49%.

Mientras el riego deficitario aplicado en base a un reducción del porcentaje de la ETc, parece tener un peor efecto sobre el rendimiento del cultivo, como han demostrado otros trabajos realizados hasta la fecha con riego deficitario en tomate de industria, en los que la reducción de la aportación hídrica (% de ETc) arrojaron siempre un descenso en la producción a pesar de ser reducciones bajas, como los tratamientos de 88% de la ETc, que mermaron la producción en un 19% (Salvatierra et al, 2007). Efecto que cuando se trata de reducciones de 70% de la ETc supusieron una reducción del 48% del rendimiento en la campaña 2008 (RAEA, 2008) o en la campaña de 2007 una reducción del 73% de la ETc supuso una reducción del 20% en los rendimientos (RAEA 2007). Al mismo tiempo que reducciones del 50% de la ETc mostraron reducciones de los rendimientos de más de un 40% (Tocpu et al, 2006).

Tabla 9. Resultados de la producción total (t/ha), dosis de riego empleada en % de la ETc, Agua aplicada (mm) y eficiencia hídrica t/m³ de agua aplicada. Letras diferentes representan las diferencias significativas conforme a los tratamientos (p<0.05, Turkey).

Tratamiento de riego	Cosecha (t.ha⁻¹)	% ETc	Agua Aplicada (mm)	Eficiencia hídrica (kg.(ha.mm)⁻¹)
100	94.91±0.94	100	680.02	155.3±8.24b
75	81.75±9.13	75	508.18	178.4±21.26 b
Ψ	88.57±3.93	54	363.54	329.4±15.21a

Sí se apreciaron diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia en el uso del agua (eficiencia hídrica expresada en kg.(ha.mm)⁻¹), entre el tratamiento del potencial (Ψ) (con una media de 329.4kg.(ha.mm)⁻¹) y los otros dos tratamientos hídricos, 100% y 75% de la ETc (con 155.3 y 178.4kg.(ha.mm)⁻¹ respectivamente). Este incremento en la eficiencia hídrica suele ser habitual en los trabajos en los que se abordan tratamientos de riego deficitario como han mostrado los experimentos de Tocpu et al (2006), en su caso con valores algo más elevados alcanzando una media de 650kg.(ha.mm)⁻¹ en tomate para consumo en fresco, con rendimiento bastante más

elevados debido a el tipo de ciclo y de crecimiento indeterminado de las variedad empleadas.

La clasificación de la cosecha, se observa en la tabla 10. Con respecto al porcentaje de fruto comercializable, el tratamiento del 100% de la ETc mostró en torno a un 10% más de frutos comercializables que los tratamientos de riego deficitario, aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos. Cabe destacar sin embargo que el tratamiento potencial (Ψ), mostró un mayor porcentaje de frutos comercializables (69.53%) frente al tratamiento que recibió el 75% de la ETc.

En cuanto al porcentaje de frutos verdes (entendiendo como frutos verdes aquellos que no han logrado la madurez completa y por tanto no poseen un color rojo intenso y uniforme), los tratamientos del 100% y del 75% de ETc presentaron valores aproximados en torno al 3 % de los frutos totales, mostrando diferencias con respecto al tratamiento potencial (Ψ) cuyo % de frutos verdes se elevó hasta más del doble (6.67%). Coincidiendo con los resultados de otros ensayos realizados en tomate de industria en los que la producción de frutos verdes fue mayor en los tratamientos que menos agua recibieron (25% y 50% de la ETc) (Fortes et al, 2013).

En nuestro ensayo tampoco se observaron diferencias entre los tres tratamientos en el porcentaje de frutos para destrío, entendiendo por destrío los tomates que quedan después de seleccionar los mejores para su comercialización, es decir, los tomates desechables. El tratamiento que mayor porcentaje de tomates para destrío tuvo fue el del 75% de la ETc, con un 33.02%, frente a los otros dos tratamientos con porcentajes muy similares entre ambos (en torno al 22%).

El tamaño de fruto fue similar, no aparecieron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 10), aunque si se apreció un menor peso en el tratamiento de 75% de ETc. El peso de los frutos expresado en gramos se mantuvo muy parecido en el tratamiento del 100% de la ETc y en potencial (Ψ) con un peso en torno a 74 g.fruto^{-1} . Sin embargo el tratamiento del 75% de la ETc registró frutos de peso más bajo, con un $56.60 \text{ g.fruto}^{-1}$. Los valores de peso de los frutos son similares a los tamaños normales descritos por otros trabajos que oscilan alrededor de los $75\text{-}80 \text{ g.fruto}^{-1}$ (RAEA 2007, RAEA 2008, Salvatierra et al 2007).

Tabla 10. Resultados de la producción de fruto comercial, verde y para destrío expresados en %. Cada uno de estos valores es la media de los datos obtenidos en las 4 parcelas de cada uno de los tratamientos. Letras diferentes representan las diferencias significativas conforme a los tratamientos ($p < 0.05$, Turkey).

Tratamiento de riego	Fruto comercial (%)	Fruto verde (%)	Fruto para destrío (%)	g.fruto⁻¹
100	72.25±4.61	3.88±1.02ab	22.13±2.49	75.50±3.21
75	63.47±4.52	3.18±0.89b	33.02±4.08	59.60±5.91
Ψ	69.53±2.84	6.67±0.43a	22.55±2.30	73.20±4.44

El análisis de los parámetros de calidad no mostró diferencias significativas con respecto a ninguno de los tres tratamientos hídricos aplicados a excepción de los licopenos, parámetro en el que sí se observaron diferencias entre los tres tratamientos de 100 y 75% de ETc. Pero atendiendo a todos los parámetros estudiados, podemos afirmar que la reducción del riego realizada en la fase del desarrollo vegetativo no afectó a la calidad de la producción.

Los valores de pH analizados indicaron valores muy parecidos en los tres tratamientos (Tabla 11), con valores medios cercanos a 4.3, siempre menores de 4.6 que es el valor máximo permitido según las normas del CODEX (1981).

Un comportamiento parecido se observó en la acumulación de sólidos solubles, como muestran sus medias con valores en torno a 3.6 ° Brix en los tres tratamientos hídricos aplicados sin que se evidenciaron diferencias significativas, aunque sí se apreciaron valores algo más elevados a medida que se reduce el aporte hídrico (Tabla 11). Este efecto del riego deficitario controlado se ha mostrado significativo en trabajos como el realizado Zegbe et al (2005) cuando se aplica déficit hídrico en las fases de cuajado y maduración de fruto, mientras que niveles intensos de estrés hídrico en la fase de desarrollo vegetativo no han tenido efecto de ningún tipo sobre la acumulación de azúcares.

En nuestro ensayo y con relación a la tensión, la resistencia a la rotura epidérmica, a pesar de que no hubo diferencias significativas, si se obtuvieron valores dispares en los tres tratamientos, siendo el valor más bajo el tratamiento de potencial (Ψ) con -3.05, y el más alto el tratamiento del 100% de la ETc con -1.89. Es decir parece apreciarse una tendencia en la que el riego deficitario parece inducir frutos más resistentes a la rotura.

El contenido en licopenos en los tres tratamientos osciló en torno a valores de 104 y 139mg kg⁻¹, que podemos considerar normales en tomate de industria. Están dentro de los rangos habituales que pueden oscilar entre 55 y 180 mg kg⁻¹, descritos en diferentes variedades, campañas y localizaciones edafoclimáticas (García y Barret, 2005). Este trabajo realizado en california afirma la habitual variabilidad en el contenido en licopenos, al igual que una fuerte influencia del estado de madurez de los frutos, a medida que los frutos maduran disminuye su contenido en licopenos. Puede que esta sea la explicación de la reducción observada en el tratamiento de 75% de ETc, que se ha diferenciado estadísticamente del tratamiento de 100% de ETc. Mientras el tratamiento de riego deficitario controlado: potencial (Ψ), no mostró diferencias estadísticas significativas con los otros dos tratamientos.

Tabla 11. Análisis de los parámetros de calidad más significativos en tomate, medida del pH, ° Brix, Tensión y cantidad de licopenos (mg/kg). Cada resultado es la media de 4 datos por tratamiento. Letras diferentes en minúsculas representan las diferencias significativas conforme a los tratamientos ($p < 0.05$, Turkey).

Tratamiento de riego	pH	°Brix	Tensión	Licopeno mg kg⁻¹
100	4.25±0.02	3.41±0.20	-1.89±0.77	139.27±4.41 a
75	4.32±0.06	3.75±0.14	-2.72±0.32	104.31±9.47 b
Ψ	4.31±0.05	3.83±0.06	-3.05±0.31	116.09±10.00 ab

5. CONCLUSIONES

El tratamiento de riego deficitario en función del potencial hídrico de hoja ha permitido un ahorro de agua de un 47%, aumentando de manera significativa la eficiencia hídrica del cultivo, sin afectar a la producción y a la calidad de los frutos.

El estrés hídrico alcanzado por el cultivo en la fase de desarrollo vegetativo con el tratamiento de riego deficitario en función al potencial hídrico de hoja, -1MPa , redujo el crecimiento vegetativo, pero la rehidratación posterior permitió la recuperación total del cultivo, con lo que podemos considerarlo un adecuado umbral de riego durante esta fase del cultivo.

Los umbrales empleados en la fase de crecimiento del fruto: -0.5MPa ; y durante la acumulación de azúcares: -0.8MPa , han permitido mantener el cultivo en un estado hídrico óptimo. Suponiendo un ahorro de agua en cada una de estas fases, de un 42% y un 93%, respectivamente.

El uso de la integral de estrés permite considerar los efectos de duración y nivel del estrés. En este aspecto, un valor de $36.5\text{MPa}\cdot\text{día}$ podemos afirmar que no afectó a la producción y calidad del cultivo. No obstante consideramos preciso estudios posteriores que permitan verificar estos umbrales.

El riego deficitario sostenido, reduciendo la dosis de riego a un 75% de la ETc , no ha mostrado un comportamiento diferente significativamente del resto de los tratamientos pero si se han observado permanentemente valores menores de rendimiento y calidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- **Améglio, T.; Cohen, M.; Archer, P.; Valancogne, C.; Daudet, F.A.; Dayau, S.; Cruiziat, P.(1999).**Significance and limits in the use of predawn leaf water potencial for tree irrigation. *Plant and soil* 207,155-167.
- **Aung, L.H. (1976).**Effects of photoperiod and tempetarute on vegetative responses of *Lycopersicon esculentum*. *Mill .Soc.Hort.Sci.*101:358-360.
- **Barrs, H.D.; Freeman, B.; Blackwell, J.; Ceccato, R.D.(1970).** Comparisons of leaf water potencial and xylem water potencial in tomato plants.485-487.
- **Balaguera, H.E.; Giovanni, J.; Rodríguez, J.D.(2008).**Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*. L).248-253.
- **Bilton, R.; Gerber, M.; Groiler, P.; Leoni, C. (2001).**” *The white book on antioxidant in tomatoes and tomato products and their health benefits*”. FAIRCT 97.32-33.
- **Burgeois, C.M.; Tirilly, L.(2002).**“*Tecnología de las Hortalizas*”. Ed. Acribia.
- **Ciruelos, A; De la Torre, R.; González, C.(2008).** Parámetro de calidad en el tomate para industria. *La agricultura y la ganadería Extremeña.* 157-169.
- **Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo.** Junta de Andalucía. Histórico de superficie cultivada de tomate y producción en Andalucía.
- **Cohen, M. (1992).** Optimización del riego a través de la utilización de indicadores de stress hídrico en el árbol. *Fruticultura Profesional.*45. 31–42.
- **Escalona, V.; Alvarado, P.; Monardes, H.; Urbina, C.; Martín, A. (2009).** Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).Nodo hortícola.5-10.
- **FAOSTAT (2012).** <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- **Ferrayra, E.R.; García, H.J. (1983).**Riego del tomate. IPA La Platina N° 18.36-37.
- **Fortes, R.; Prieto, M.H.; González, J.A; Campillo, C.(2013).** Estrategias de riego deficitario controlado en el cultivo de tomate de industria. *Vida Rural.* 14-19.
- **García, J.P.; García, A.(2008).** R.A.E.A Tomate para industria campaña 2008. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 1.

- **García, E.; Barrett, D.M.(2005).**Assessing Lycopene content in California processing tomatoes. Department of Food Science and Tecnology. University of California.62-67.
- **Hsiao, T.C. (1990).** Measurements of plant water status. Irrigation of agricultural crops.Agronomic Monograph, 30.243-179.
- **Ho, L.C. (1996).** Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships.New York.709-728.
- **Hanson, B.; May, D. (2004).**Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield water table depth, soil and profitability.5-14.
- **Informe de Medio Ambiente en Andalucía (2012).**Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del territorio. Junta de Andalucía.
- **Johstone, P.R.; Hartz, T.K.; Lestrage, M.; Nuez, J.J. Miyao, E.M. (2005).** Managing fruit soluble solids with late-season deficit irrigation in Drip-irrigated processing tomato production.1859-1861.
- **Lambers, H. (1987).** Does variation in photosynthetic rate explain variation in growth rate and yield? Journal of Agricultural Science 35. 505-519.
- **Lichtentheler H.K. (1996).** Vegetation stress: An introduction to the stress concept in plants. Journal of Plant Physiology 148.4-14.
- **Moriana A., Girón I.F., Martín-Palomo M.J., Conejero W., Ortuño M.F., Torrecillas A. & Moreno F. (2010).** New approach for olive trees irrigation schedulings using trunk diameter sensors. Agricultural Water Management, 97.1822–1828.
- **Mudarra, J.L. (1988).** Reconocimiento de los suelos de la comarca de El Aljarafe (Sevilla).Consejo Superior de Investigaciones Científicas.126.
- **McCutchan, H.; Shackel, K.A. (1992).** Stem water potencial as a sensitive indicator os water stress in prune trees (*Prunues domestica* L cv French). J. Amer.Soc.Hort.Sci.117.607-611.
- **Moriana, A.; Fereres, E.(2002) .** Plant indicator for scheduling irrigation of Young olive tres. Irrig.Sci. 21,83-90.
- **Moriana, A; Pérez-López, D.; Prieto, M.H.; Ramírez-Santa-Pau, M.; Pérez-Rodríguez, J.M.(2012).** Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. Agric.Water Manage 112:43-54.

- **Martín, D.L.; Stegman, E.C.; Fereres, E. (1991).** Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, Maldison. 155-203.
- **Namesny, A.; Merino, M.(2004).** Tomate: Producción y comercio. Ediciones de horticultura S.L. Reus.24.
- **CODEX. (1981).** Normas del CODEX para tomates en conserva 15-17.
- **MAGRAMA. (2013)** .Anuario de estadísticas agrarias varios años.
- **MAGRAMA.(2008).**Anuario de estadísticas agrarias varios años.
- **Nuez, F. (1995).** El cultivo del tomate. Mundi-Prensa.20,51.
- **Nuez,F. (1995).** El cultivo del tomate.256-300.
- **Ngovajio, M.; Wang, G.; Goldy, R. (2006).** Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch.287-290.
- **Postel, S.L.(1998).**Water for food production: will there be enough in 2025?.Bioscience 48:629-637.
- **Pulopol, P.L.; Hossein, M.; Fisher, K.J.; (1996).** Growth, Yield, and Postharvest attributes of Glasshouse tomatoes produced under Deficit Irrigation.926-928.
- **Quadir, M.; Hickey, M.; Boulton, A.; Hoogers, R.; (2006).** Effect of deficit irrigation on TSS in tomatoes. National Vegetable Industry Centre.36-37.
- **R.A.E.A. (2008).** Instituto de Investigación y Fomento Agraria y Pesquera Consejería de Agricultura y Pesca.18-33.
- **Rodríguez, R.; Tabares, T.M.; Medina, J.A. (1997).** El cultivo moderno del tomate. 2ª Edición.13-17.
- **Reche, J. (2009).**Cultivo de tomate en invernadero .13,17,29.
- **Van Schilfgaarde, J. (1994).**Irrigation-a blessing or a curse. Agric Water Manage 25:203-219.
- **Sirtoni, G.; Boffelli, E. (2007).** Los tomates: cultivo, cuidados y consejos prácticos.12,16.
- **Salvatierra, B.; Gavilán, P.; Cermeño, P.(2007).** Riego deficitario en tomate para industria.796-800.
- **Saavedra, G.; González, M. (2005).** Producción de tomates para procesamiento.11-12.

- **Shackel K.A., Ahmadi H., Biasi W., Buchner R., Goldhamer D., Gurusinghe S., Hasey J., Kester D., Krueger B., Lampinen B., McGourty G., Micke W., Mitcham E., Olson B., Pelletrau K., Philips H., Ramos D., Schwankl L., SibbettS., Snyder R., Southwick S., Stevenson M., Thorpe M., Weinbaum S. &Yeager J. (1997).** Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology*, 7, 23–29.
- **Topcu, S.; Kirda, C.; Dasgan, Y.; Kaman, H.; Cetin, M.; Yazici, A., Bacon, M.M. (2007).** Yield response and N-Fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation.1-6.
- **Topcu, S.; Kirda, C.; Dasgan, Y.; Cetin, M.; Ekici, B.; Derici, M.R.; Ozguven, A.I. (2006).** Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional déficitirrigation.195-200.
- **Vergani, R.J (2002).** *Lycopersicum esculentum*: una breve historia del tomate. *Horticultura* 158.1-9.
- **Zegbe, J.A.; Behboudian, M.H.; Clothies, B.E.; (2005).** Responses of ‘Petopride’ Processing tomato to partial root zone drying at different phonological stages.1-8.
- **Zegbe, J.A.; Behboudian, M.H.; Lang,A.; Clothies, B.E. (2003).** Water relations, Growth, and Yield of Processing tomatoes under partial rootzone drying.35-39.
- **WPTC. (2014).** World Production estimate of tomatoes for processing.