

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y
AGROAMBIENTAL



**“ESTUDIO DEL EFECTO DEL ACLAREO SOBRE
LA CALIDAD COMERCIAL DE LA GRANADA Y EL
ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Diciembre 2015

Autor: Vicente Javier Abarca Motos

Tutor/es: Francisca Hernández García

Alejandro Galindo Egea

ESTUDIO DEL EFECTO DEL ACLAREO SOBRE LA CALIDAD COMERCIAL DE LA GRANADA Y EL ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO

RESUMEN

El aclareo o eliminación parcial de frutos es una técnica empleada para mejorar el calibre de los frutos recolectados, mejorando la calidad comercial de la fruta. El objetivo de este trabajo se centró en el estudio del efecto del aclareo de frutos en el granado (*Punica granatum* L.) las características físicas y químicas que definen la calidad comercial de la fruta y sobre el estado hídrico del cultivo.

Se han recopilado datos de las medidas de potencial hídrico de tallo y conductancia estomática para estudiar el efecto de los distintos tratamientos de riego y niveles de aclareo de fruto. Además, se ha evaluado los distintos tratamientos de riego y niveles de aclareo sobre la producción y características físicas de las granadas (peso, tamaño y color de la piel) y químicas que determinan su valor comercial (color del zumo, acidez, sólidos solubles, índice de madurez).

Palabras clave: Granado, riego, aclareo, producción, calidad.

STUDY ON EFFECT OF COMMERCIAL THINNING OF POMEGRANATE STATE WATER QUALITY AND CROP

ABSTRACT

Thinning fruit or partial removal is a technique used to improve the caliber of the fruits harvested, improving the commercial quality of the fruit. The overall objective of this work focused on the study of the effect of fruit thinning in the pomegranate (*Punica granatum* L.) the physical and chemical characteristics that define the commercial quality of the fruit and the water status of the crop.

Data has been collected measures stem water potential and stomatal to study the effect of different treatments of irrigation and fruit thinning levels of conductance. It has also evaluated different irrigation treatments and levels of thinning on the production and physical characteristics of pomegranates (weight, size and color of the skin) and chemical to determine its market value (color juice, acidity, soluble solids, maturity index).

Keywords: Pomegranate, irrigation, thinning, production, quality.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. ORIGEN DEL GRANADO.....	11
1.2. TAXONOMÍA.....	13
1.3. MORFOLOGÍA.....	14
1.4. VARIEDADES CULTIVADAS EN ESPAÑA.....	19
1.5. RESISTENCIA A LA SEQUIA Y EL RAJADO DE LOS FRUTOS...21	
1.6 NECESIDADES HÍDRICAS Y NUTRICIONALES.....	23
1.7. ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO.....	24
1.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS GRANADAS EFECTO DEL RIEGO.....	27
1.9. INDUSTRIALIZACIÓN.....	30
1.10. IMPORTANCIA ECONÓMICA.....	32
2. OBJETIVOS.....	39
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	40
3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES.....	40
3.1.1 MATERIAL VEGETAL.....	40
3.1.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	41
3.1.3 CONDICIONES EDAFICAS.....	44
3.2. TRATAMIENTOS.....	44
3.3. RIEGO Y FERTILIZACIÓN.....	45
3.4. PARÁMETROS ANALIZADOS.....	47
3.4.1. CRONOLOGÍA DE LAS TAREAS.....	47
3.4.2. POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO.....	48
3.4.3 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.....	49
3.4.4 PRODUCCIÓN.....	51

3.4.5 CALIDAD.....	51
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	52
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO.....	53
4.2. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.....	54
4.3. PRODUCCIÓN.....	55
4.4. CALIDAD.....	56
4.4.1 PARAMETROS MORFOLÓGICOS.....	56
4.4.2 PARAMETROS DE COLOR DEL FRUTO.....	57
4.4.3 PARAMETROS QUÍMICOS.....	58
5. CONCLUSIÓN.....	61
6. BIBLIOGRAFÍA.....	63



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Granados (*Punica granatum* cv. Wonderful) adulto (izquierda) y en periodo juvenil (derecha).

Figura 2. Albardado o soleado en la piel de granadas de la variedad *Mollar de Elche*.

Figura 3. Hoja de granado variedad Wonderful.

Figura 4. Botones florales (izquierda) y flor abierta (derecha) de granado.

Figura 5. Granadas de la variedad *Mollar de Elche* (A y B), lóculos separados por el septum (C) y arilos (D).

Figura 6. Granadas de las variedades *Wonderful* (izquierda) y *Valenciana* (derecha).

Figura 7. Granados “sobrevivientes” en una explotación agrícola abandonada.

Figura 8. La lluvia, acontecida a finales del periodo de crecimiento del fruto y maduración, puede inducir en granadas inadecuadamente regadas altas tasas de agrietado de frutos.

Figura 9. Superficies cultivadas de los principales países productores. Según Yael Kachel (2008).

Figura 10. Producción de los principales países productores de granada. Según Yael Kachel (2008).

Figura 11. Rendimiento de los principales países productores de granada. Según Yael Kachel (2008).

Figura 12. Evolución de la superficie de producción de granada en España (MAGRAMA, 2012).

Figura 13. Evolución de la producción total de granada en España (MAGRMA, 2012)

Figura 14. Evolución en el rendimiento de la superficie en producción de granada en España (MAGRAMA, 2012).

Figura 15. Granado adulto var. Wonderful en Santomera

Figura 16. Finca experimental de granado en Tres Caminos, Santomera (Murcia)

Figura 17. Estación climática de Tres Caminos (Santomera, Murcia).

Figura 18: Gráfica comparativa entre ETo y las precipitaciones durante el periodo experimental de la estación meteorológica de la finca Tres Caminos, Santomera (Murcia).

Figura 19. Gráfica comparativa entre temperatura media (T_m) y déficit de presión de vapor media diaria del aire (DPVm) durante el periodo experimental de la estación meteorológica de la finca Tres Caminos, Santomera (Murcia).

Figura 19. Equipo de bombeo, abonado y programador empleados en la finca.

Figura 20. Cámara de presión utilizada (Scholander, modelo 3000F01)

Figura 21. Hoja cubierta con papel de aluminio para su posterior medida de potencial hídrico.

Figura 22. Porómetro empleado en el ensayo para medir la conductancia estomática.

Figura 23. Pinza del porómetro en proceso de medición.

Figura 24. Potencial del tallo en los tratamientos T0, T1, T2, T3.

Figura 25. Conductancia estomática de los tratamientos T0, T1, T2, T3.

NDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de la lluvia abundante (un episodio de 84 mm) sobre la producción total de granadas, PT (kg/árbol), producción comercial, PC, (kg/árbol), producción de frutos agrietados, PA, (kg/árbol y % respecto de PT entre paréntesis) en árboles a los que se les suprimió riego durante 0 (T0), 6 (T1), 15 (T2), 25 (T3), y 36 (T4) días antes de la recolección. Los valores medios dentro de cada columna que no tienen ninguna letra en común fueron diferentes según el test de la $LSD_{0.05}$

Tabla 2. Principales compuestos bioactivos en diferentes partes de la granada y en el zumo.

Tabla 3. Estimaciones de productores mundiales de granada. Datos obtenidos de una investigación de Yael Kachel, departamento de investigaciones de mercado, Ministerio de agricultura israelí (ISHS, 2008).

Tabla 4. Evolución de la superficie cultivada, producción, rendimiento y precio percibido de la granada en España (MAGRAMA, 2012).

Tabla 5. Rendimiento y producción total de granada por comunidades autónomas (MAGRAMA, 2012).

Tabla 6. Datos climáticos más relevantes con las medias de los cuatro meses más importantes.

Tabla 7. Elementos y riquezas de los abonos empleados.

Tabla 8. Unidades fertilizantes completas de abonado necesario para el cultivo

Tabla 9. Tareas realizadas durante el ensayo.

Tabla 10. Parámetros producción.

Tabla 11. Parámetros morfológicos de los diferentes tratamientos (T2 y T3) con diferentes técnicas de culturales (Aclareo/No aclareo) y el mismo riego (60 % ETc). †NS= estadísticamente no existen diferencias ($p < 0.05$). ‡D: Diámetro ecuatorial; L1: Longitud desde la base de la granada a la base de cáliz; L2: Longitud del cáliz; PC+MC: peso de la corteza y las membranas carpelares; EC: grosor de la corteza.

Tabla 12. Parámetros de color del fruto y de los arilos de los diferentes tratamientos (T2 y T3) con diferentes técnicas de culturales (Aclareo/No aclareo) y el mismo riego (60 % ETc). †NS= estadísticamente no existen diferencias ($p < 0.05$).

Tabla 13. Parámetros físico-químicos de los diferentes tratamientos (T2 y T3) con diferentes técnicas de culturales (Aclareo/No aclareo) y el mismo riego (60 % ETc). †NS= estadísticamente no existen diferencias ($p < 0.05$). ‡SST: Contenido en sólidos solubles; IM: índice de madurez.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. ORIGEN DEL GRANADO

El granado (*Punica granatum* L.) (Figura 1) es una especie frutal que fue domesticada en el neolítico, teniendo durante toda la antigüedad una clara relevancia. Prueba de esta importancia es el haber sido mencionado en el Antiguo Testamento. Concretamente, en Persia (Irán) se cultivaron granadas comestibles en el 3000 a. C., estando también presentes en Jericó, actual Israel. Por el año 2000 a. C, los fenicios habían establecido colonias marítimas en la costa mediterránea del norte de África, introduciendo la granada en lo que hoy en día se conoce como Túnez y Egipto. En la misma época, las granadas se cultivan en el oeste de Turquía y Grecia, dispersándose a otros lugares del mundo, llegando a China en el 100 a.C. Por el 800 a. C., el fruto se extendió por el Imperio Romano, incluyendo España. Al mismo tiempo, era conocido por ser cultivada ampliamente en el centro y el sur de la India (Morton *et al.*, 1987).



Figura 1. Granados (*Punica granatum* cv. Wonderful) adulto (izquierda) y en periodo juvenil (derecha).

A principios de 1400, la granada se había establecido por Indonesia (Morton *et al.*, 1987) y, en los años 1500 y 1600, Los españoles la llevaron a América y los misioneros jesuitas la introdujeron en México y California (La Rue *et al.*, 1980). La primera evidencia clara de que la granada se estableció en los

Estados Unidos fue en el principios de 1700, cuando fue cultivada en la Florida española y la Georgia inglesa. Por 1770, la granada se fue expandiendo hacia la Costa Oeste y incrementándose su cultivo en las misiones de California (Morton *et al.*, 1987; Seelig *et al.*, 1970).

Si bien las condiciones mediterráneas parecen ser las óptimas para su cultivo, el granado se ha adaptado a muchas zonas del mundo con diferentes microclimas. Concretamente, se cultivan huertos comerciales de granados en la cuenca del Mediterráneo (Norte de África, Egipto, Israel, Siria, Líbano, Turquía, Grecia, Chipre, Italia, Francia, España, Portugal), en Asia (Irán, Irak, India, China, Afganistán, Bangladesh, Myanmar, Vietnam, Tailandia; y en las antiguas repúblicas soviéticas: Kazajstán, Turkmenistán, Tayikistán, Kirguistán, Armenia y Georgia, y en América (Estados Unidos, Perú y Chile). Actualmente, se han establecido nuevas plantaciones en Sudáfrica, Australia, Argentina y Brasil (Holland *et al.*, 2009).

El nombre genérico de *Punica* alude a los cartagineses, probablemente porque ellos lo introdujeron en el sureste de Europa, mientras que *granatum*, lleno de granos, alude a sus múltiples semillas. La especie *Punica protopunica* es el único pariente de la granada cultivada (Guarino *et al.*, 1990). Si bien algunos autores indican que *Punica protopunica* tuvo un papel directo en el origen de *Punica granatum*, otros autores no están de acuerdo con esta opinión (Zuhkovskij *et al.*, 1950).

Si bien, la granada ha sido objeto de una intensa presión de selección debido a la domesticación, hay poca diferencia entre las formas silvestres y las cultivadas. El progenitor probable de la granada es muy similar en apariencia a la forma domesticada, que difieren principalmente en el tamaño de la fruta y color de las frutas (Hancock *et al.*, 2004; Still *et al.*, 2006).

Cabe resaltar, que en un pasado cercano el interés por este cultivo disminuyó considerablemente, siendo considerando, durante mucho tiempo, un cultivo menor. Actualmente, existe un renovado y creciente interés por sus frutos, como consecuencia de los probados efectos beneficiosos sobre la salud, esencialmente el tratamiento o reducción de enfermedades crónicas. Estos

efectos beneficiosos coinciden con los intuitos en las prácticas medicinales de muchas culturas tradicionales.

1.2. TAXONOMIA

Hasta hace poco la granada se adscribía a la familia Punicaceae, pero estudios recientes demuestran su pertenencia a la familia de las Lythraceae, la cual incluye aproximadamente 32 géneros y 600 especies (Graham *et al.*, 2005).

En la clasificación de Koehne (Koehne *et al.*, 1881), excluye el género *Punica*, y reconoce en su lugar la familia Punicaceae (*Punica*), aunque sugirió que está íntimamente ligada a la familia Lythraceae. Otros autores, incluyen *Punica* dentro de la familia Lythraceae basándose en el aumento de datos anatómicos, palinológicos y embriológicos (Dahlgren y Thorne *et al.*, 1984; Thorne *et al.*, 1992), una idea que fue apoyada por el primer análisis cladístico completo de caracteres morfológicos en Myrtales (Johnson y Briggs *et al.*, 1984), y en Lythraceae (Graham *et al.*, 1993).

El género *Punica* está formado por 8 especies, de las cuales solo dos, *Punica granatum* L. y *Punica protopunica* Balf., están reconocidas y aceptadas en The Plant List y Tropicos[®].

Encuadre taxonómico según Tropicos[®] (2009 Angiosperm Phylogeny Group III):

- Clase: Equisetopsida C. Agardh
- Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.
- Superorden: Rosanae Takht.
- Orden: Myrtales Juss. Ex Bercht. y J. Presl
- Familia: Lythraceae J. St.-Hil.
- Género: *Punica* Linnaeus

Punica granatum L. es una especie diploide cuyo número somático es $2n = 16$, y cromosomas haploides = 8 (Westwood *et al.*, 1982) o $2n = 16$ o 18.

1.3. MORFOLOGIA

El granado es un árbol de pequeño porte, que puede desarrollar varios troncos, adquiriendo un aspecto más bien arbustivo. Bajo condiciones de cultivo la especie adquiere portes de hasta 5 m, pudiendo alcanzar hasta más de 7 m, mientras que en condiciones ambientales desfavorables, se pueden encontrar variedades de arbusto rastrero (Levin *et al.*, 2006). Además, existen variedades enanas que no superan los 1,5 m (Levin, *et al.*, 1985, 2006; Liu *et al.*, 2003). Las ramas suelen ser espinosas y los troncos poseen una gran capacidad de desarrollar “chupones” que crecen desde la base o las raíces principales.

A fin de facilitar algunas prácticas culturales, esencialmente la poda, el aclareo de frutos y la recolección, se tiende a facilitar la existencia de sólo un tronco y de 3 a 4 ramas principales. Durante los primeros años, las ramas principales suelen sujetarse a estacas a fin de evitar su tendencia a inclinarse poniendo muchos frutos en contacto con el suelo y depreciando su valor.

La mayoría de las variedades de granada son árboles de hoja caduca. Sin embargo, hay variedades de hoja perenne en la India. Algunas de estas variedades de hoja perenne pierden sus hojas en mayores elevaciones y climas más fríos (Nalawadi *et al.*, 1973), debiéndose considerar como condicionales de hoja caduca.

El tipo de poda varía en función de la sensibilidad de los frutos a presentar la fisiopatía denominada albardado o soleado de los frutos (Figura 2). Sin embargo, la eliminación de brotes en los troncos es una práctica habitual en 2 ó 3 ocasiones al año, realizándose manualmente o con el uso de productos químicos.

Dada la preferencia de todos los mercados por las granadas de mayor calibre, resulta imprescindible proceder al aclareo de frutos. Esta práctica cultural se suele realizar a primeros de junio, dejando los frutos a unos 20-25 cm de distancia y evitando dejar frutos en contacto, ya que así se favorece el crecimiento de los mismos y se evita la aparición de problemas fitosanitarios en las zonas de contacto de los frutos. A finales de junio, se suele realizar otro

aclareo para eliminar los frutos de floraciones tardías que condicionan el crecimiento de los demás.



Figura 2. Albardado o soleado en la piel de granadas de la variedad *Mollar de Elche*

Las hojas tienen una forma oblanceolada y con ápice obtuso (Figura 3). Las hojas maduras son de color verde, suave y sin pelo con pecíolos cortos. Por lo general tienen una apariencia brillante (particularmente en la parte superior de la hoja) y contienen con idioplastos sustancias secretoras que aún no han sido identificadas (Fahan *et al.*, 1976). Las hojas con estipulas, opuestas y pares que se cruzan de forma alterna en ángulo recto. Algunas variedades tienen 3 hojas por nudo, dispuestos en 120 grados y hasta 4 hojas por nudo en el mismo árbol (2 hojas opuestas por nudo) (Moreno *et al.*, 2014).



Figura 3. Hoja de granado variedad Wonderful

En condiciones mediterráneas, los árboles florecen en abril-mayo, un mes después de la brotación, refloreciendo en menor cantidad posteriormente, y la recolección de los frutos depende de la variedad, comenzando algunas a finales de verano. Las flores pueden aparecer solitarias, en parejas o en grupos. En la mayoría de los casos, las flores solitarias aparecerán en los brotes a lo largo de las ramas, mientras que los grupos son terminales. En la etapa temprana, la flor se asemeja a una pequeña pera con un color verdoso por su parte globosa y de color rojizo basal de color en su ápice o en su totalidad de color rojo oscuro. A medida que la flor madura, se desarrolla un color rojo anaranjado a rojo intenso en el color de los sépalos, que varía entre las diferentes variedades (Figura 4). Los pétalos son naranja-rojo o rosado y raramente blancas (Feng *et al.* 1998; Wang *et al.*, 2003; Levin *et al.*, 2006). Varios cultivares de granada en la India, Rusia, China y Turkmenistán se han descrito como granados ornamentales por ser de “flor doble”, con un número inusualmente alto de pétalos y el color de los pétalos diferente (Iskenderova *et al.*, 1980, 1988; Feng *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2003; Levin *et al.*, 2006).



Figura 4. Botones florales (izquierda) y flor abierta (derecha) de granado.

Las flores pueden aparecer solitarias, en parejas o en grupos. En la mayoría de los casos, las flores solitarias aparecerán en los brotes a lo largo de las ramas, mientras que los grupos son terminales.

Nalawadi *et al.*, (1973) definió 10 etapas de desarrollo de las flores. De acuerdo a estos autores, el tiempo requerido para la finalización del desarrollo del brote de flor en los cultivares de la India se encuentra entre 20 y 27 días (Nalawadi *et al.*, 1973; Josan *et al.*, 1979). Parece existir una buena correlación

entre el color de los sépalos y el color final de la piel del fruto. Por lo general, los cultivares con piel de color rojo oscuro de fruta tendrá una flor más rojo-oscuro.

Las flores pueden ser hermafroditas (fértils, forma de “florero”) o masculinas (estériles, forma de “campana”). Ambos tipos tienen varios cientos de estambres. La flor con forma de campana tiene unos ovarios poco desarrollados o sin pistilo y atrofiados que contienen pocos óvulos y es infértil. Por lo tanto, la forma de la flor de campana se conoce como flor masculina y caerá sin llegar a fructificar. La flor con forma de florero es fértil con un ovario normal, capaz de desarrollar sus frutos.

El estigma de la flor hermafrodita está a la altura de las anteras o emergente por encima de ellas. Esta posición permite la auto-polinización, así como la polinización por insectos. El factor que determina la capacidad de producción de frutos es el número de flores con forma de florero. Por lo tanto, los cultivares con mayor relación de flores femeninas frente a masculinas tendrá un mayor potencial de rendimiento de fruta. El porcentaje de las flores femeninas entre los cultivares de Israel es de 43% a 66% (Assaf *et al.*, 1991). Otros estudios realizados en la India indican proporciones para los cultivares locales indias de 53% a 80% (Nalawadi *et al.*, 1973). Un tercer tipo de flor intermedia se ha descrito, la cual tiene estilo corto y un ovario desarrollado que a veces es fértil (Goor y Liberman *et al.*, 1956; Nalawadi *et al.*, 1973; Assaf *et al.*, 1991).

Los sépalos, 5 a 8, fundidos, en su base, forman una forma de jarrón rojo y carnosos. Los sépalos no se reducirán con el cuajado y permanecerán como parte integral de la fruta a medida que madura, generando una fruta coronada con un prominente cáliz. La flor tiene de 5-8 pétalos. Su número por lo general es igual al número de sépalos. Los pétalos, que alternan con los sépalos, son separados y tienen un color rosa-naranja a naranja-rojo dependiendo de la variedad. Los pétalos son obovados, muy delicados, y ligeramente arrugados. Los múltiples y largos estambres se insertan en las paredes del cáliz en un círculo y con frecuencia son más de 300 por flor. Tienen unos filamentos y biloculares naranjas y anteras amarillas que

permanecen unidas al prominente cáliz. Entre los estambres y la base del ovario se establecen los nectarios (Fahan *et al.*, 1976). Los carpelos varían en número, pero son por lo general ocho superpuestos en dos verticilos. Forman un ovario sincárpico y están dispuestos en dos capas. Josan *et al.*, (1979) estudiaron la antesis y la receptividad del estigma. Estos autores señalan que el tiempo empleado por las flores para completar la antesis de 3 a 5 horas. La granada es polinizada tanto por autopolinización, como por polinización cruzada por insectos. La polinización por el aire ocurre en raras ocasiones (Morton *et al.*, 1987).

Las granadas son frutos con una estructura muy compleja, mostrando un cáliz persistente en el extremo y una piel coriácea que encierra muchas semillas rodeadas por los arilos jugosos, que comprenden la porción comestible de la fruta (Watson y Dallwitz *et al.*, 1992) (Figura 5). Los arilos de los frutos se encuentran agrupados en lóculos, constituyendo la parte comestible del fruto, y evolucionan durante 5-8 meses desde un color blanquecino a distintos tonos rojizos en función de la variedad (Figura 5). La suavidad de las semillas viene determinada por el contenido de esclerénquima. El número de lóculos y arilos puede ser tan alto como 1300 por fruto (Levin *et al.*, 2006). La cáscara se compone de dos partes: el pericarpio, que proporciona una capa de la cutícula y la estera fibrosa; y el mesocarpio (conocido también como el albedo), que es el tejido esponjoso y la pared de la fruta interior donde los arilos conceden. Las membranas septales son tejidos, parecido al papel, que compartimenta grupos de arilos. Hay interés en la identificación o el desarrollo de cultivares que tengan más lóculos pero menos membranas septales, y un mesocarpio más delgado.

Las granadas maduran alrededor de 6 a 7 meses después de la floración (Morton *et al.*, 1987) y se cosechan cuando adquieren las cualidades que se consideran más adecuadas en el mercado de destino. En Israel, cosechan la variedad 'Wonderful' cuando se alcanzan los 15 grados brix (Morton *et al.*, 1987). La madurez mínima para 'Wonderful' en California se basa en la acidez valorable (< 1,85 %) y de color más oscuro que una referencia establecida (Kader *et al.*, 2006). En un estudio español, los sólidos solubles de los

cultivares examinados no varían mucho desde mediados de agosto hasta mediados de noviembre (Legua *et al.*, 2000).

La preferencia de todos los mercados por las granadas de mayor calibre, obliga al aclareo de los frutos. Esta práctica cultural se suele realizar en junio, dejando los frutos a unos 20-25 cm de distancia y evitando el contacto entre ellos, ya que así se favorece el crecimiento de los mismos y se evita la aparición de problemas fitosanitarios en las zonas de contacto. Posteriormente, se suele realizar otro aclareo para eliminar los frutos de floraciones tardías que condicionan el crecimiento de los demás.



Figura 5. Granadas de la variedad *Mollar de Elche* (A y B), lóculos separados por el septum (C) y arilos (D)

1.4. VARIEDADES CULTIVADAS EN ESPAÑA

Existen numerosas variedades de granado, y es muy probable que muchas de ellas procedan de un mismo genotipo, aunque se denominen de forma diferente. La utilización de distintas variedades se encuentra muy relacionada con las preferencias de la población local y el destino de la exportación. En este sentido, el consumo en la India se inclina por sabores

dulces, mientras que en el oeste europeo hay una clara preferencia por granadas de sabor agridulce. En los frutos de sabor más ácido predomina el ácido cítrico sobre el málico, mientras que los frutos más dulces tienen similares niveles de ambos ácidos.

En España se cultivan esencialmente dos grupos de variedades autóctonas (Mollar y Valenciana) (Figuras 5 y 6), aunque existen otras variedades muy interesantes como Albar de Blanca, Agridulce de Ojós, Borde de Albatera, Borde de Ojós, Casta del Reino, Piñón tierno de Ojós, etc.



Figura 6. Granadas de las variedades *Wonderful* (izquierda) y *Valenciana* (derecha).

El grupo de variedades Mollar es el más cultivado en España, y se utiliza también en otros países de la UE. Sus frutos se cosechan de finales de septiembre a mediados de noviembre. El grupo de variedades denominado Valenciana es mucho más temprano, recolectándose desde primeros de Agosto a mediados de septiembre. Sin embargo, sus frutos son menos demandados por su inferior calidad y tamaño. La variedad Piñón tierno de Ojós es muy interesante por el gran tamaño de sus frutos y sabor agridulce.

En los últimos años, los agricultores españoles han incrementado el cultivo de la variedad Wonderful (Figura 6), que a pesar de que sus producciones son de medias a bajas, en relación a las variedades españolas, poseen un atractivo color rojo intenso y un sabor agrio que facilita su exportación a algunos países europeos y Rusia.

1.5. RESISTENCIA A LA SEQUIA Y EL RAJADO DE LOS FRUTOS

El granado es muy resistente a la sequía, siendo capaz de soportar condiciones extremadamente áridas, incluso desérticas. Por ello, son de los pocos árboles que sobreviven en explotaciones agrícolas completamente abandonadas (Figura 7). La elevada resistencia a la sequía se basa, esencialmente, en el desarrollo de mecanismos a nivel foliar tanto de evitación como de tolerancia al estrés. Concretamente, al inicio del déficit hídrico los estomas regulan su apertura a fin de controlar las pérdidas de agua vía transpiración, evitando la pérdida de la turgencia foliar (mecanismo de evitación). Cuando se alcanzan niveles considerables de déficit hídrico, las se acumulan más solutos en la vacuola, ajuste osmótico, que a su vez ayuda a mantener la turgencia foliar (mecanismo de tolerancia). Adicionalmente, de forma similar a otras plantas xeromórficas, presenta altos niveles foliares de agua apoplástica, lo que contribuye a su retención en condiciones hídricas adversas (Rodríguez *et al.*, 2012).



Figura 7. Granados “sobrevivientes” en una explotación agrícola abandonada.

A pesar de que el agrietado de los frutos (Figura 8) es una fisiopatía muy frecuente, la información sobre sus causas es muy escasa. Recientemente, hemos podido verificar que la fase comprendida entre la etapa final de crecimiento y la maduración del fruto, caracterizada por el hecho de que el

agua accede a las granadas fundamentalmente a través del floema en vez de a través del xilema, es altamente crítica. Concretamente, situaciones de déficit hídrico plenamente soportables a nivel foliar son capaces de provocar la pérdida de la turgencia en los frutos reduciendo el crecimiento de los mismos (Tabla 1). Además, cuando acontecen episodios de lluvia en estas condiciones, la rehidratación de los frutos conduce a un aumento asimétrico de la turgencia, aumentando en mucha mayor medida la turgencia de los arilos que la turgencia de la piel, lo que favorece la aparición del agrietado de los frutos (Tabla 1) (Galindo *et al.*, 2014).



Figura 8. La lluvia, acontecida a finales del periodo de crecimiento del fruto y maduración, puede inducir en granadas inadecuadamente regadas altas tasas de agrietado de frutos.

Tabla 1. Efecto de la lluvia abundante (un episodio de 84 mm) sobre la producción total de granadas, PT (kg/árbol), producción comercial, PC, (kg/árbol), producción de frutos agrietados, PA, (kg/árbol y % respecto de PT entre paréntesis) en árboles a los que se les suprimió riego durante 0 (T0), 6 (T1), 15 (T2), 25 (T3), y 36 (T4) días antes de la recolección. Los valores medios dentro de cada columna que no tienen ninguna letra en común fueron diferentes según el test de la $LSD_{0.05}$

Tratamiento	PT	PC	PA
T0	64 ab	57 a	8 c (13)
T1	70 a	56 a	15 cb (21)
T2	55 b	35 b	20 b (28)
T3	60 ab	29 b	31 a (51)
T4	50 b	18 b	32 a (64)

1.6. NECESIDADES HÍDRICAS Y NUTRICIONALES

Apenas existen publicaciones relevantes sobre las necesidades hídricas (ETc) del granado. Si bien se han determinado valores del coeficiente de cultivo (Kc) en árboles jóvenes cultivados en lisímetros y regados con aguas de distintos niveles de salinidad (Bhantana y Lazarovitch *et al.*, 2010). Igualmente, Ashraf y Majeed *et al.*, (2006) propusieron valores de Kc para las variedades de granado cultivadas en Balochistán. En Israel se estiman unas necesidades de riego de 600 mm anuales, a dosis iniciales de 1,5 mm/d en primavera, unos 5 mm/d en los días de verano próximos a la recolección y muy poco riego tras la recolección (Blumenfeld *et al.*, 2006).

En relación al manejo del riego con sensores de diámetro del tronco, cabe mencionar que la máxima contracción diaria del tronco (MCT) es el indicador del estado hídrico más sensible y fiable para la programación del riego. Además, los valores de la MCT en condiciones no limitantes de agua en el suelo pueden predecirse mediante el uso de los valores diarios de la ETo, el déficit de presión de vapor medio diario (DPV_m), la temperatura media diaria (T_m) y la radiación solar (R_s), lo que facilitará la normalización de los valores de la MCT y su utilización en la programación automática del riego (Galindo *et al.*, 2013).

Distintos autores han corroborado que tanto el periodo de rápido crecimiento del fruto, como el de maduración, son críticos para la producción y la calidad de las granadas. Por tanto, el periodo fenológico que comprende la floración y cuajado de los frutos podría ser el más adecuado para reducir el riego sin conseguir efectos adversos.

La información sobre la fertirrigación del granado es muy escasa. En Israel se suelen aplicar dosis de fertilizantes similares a otros frutales, totalizando unos 200-300 kg/ha de N y K₂O. En España, se suelen aplicar del orden de 150 kg N/ha, 70 kg P₂O₅/ha, y 150 kg K₂O/ha.

1.7. ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO

El término riego deficitario o irrigación suplementaria se ha utilizado para definir la práctica de aplicar pequeñas cantidades de agua de riego para los cultivos de invierno que normalmente se cultiva bajo condiciones de secano (Oweis *et al.*, 1998). En este caso, se trata una forma de riego deficitario, ya que no se buscan los rendimientos máximos. Por lo tanto, los términos de déficit o el riego suplementario no son intercambiables, y cada situación de riego deficitario (RD) debería definirse en términos del nivel de suministro de agua en relación con la máxima evapotranspiración (ET_c) del cultivo.

Una consecuencia de la reducción del uso de agua de riego por RD es el mayor riesgo de aumento de la salinidad del suelo debido a la reducida lixiviación, y su impacto en la sostenibilidad de la riego (Schoups *et al.*, 2005). Para cuantificar el nivel de RD primero es necesario definir las necesidades producidas por la ET. Afortunadamente, desde que Penman (1948) desarrolló el enfoque de combinación para calcular la ET, la investigación sobre las necesidades de agua de los cultivos ha producido varios métodos fiables para su cálculo. En la actualidad, la Ecuación Penman-Monteith (Monteith y Unsworth *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1998) es el método establecido para determinar la ETo de los principales cultivos herbáceos con suficiente precisión para fines de gestión del riego.

Hay, sin embargo, más incertidumbre cuando se utiliza el mismo método para determinar los requisitos por ET_c de cultivos de árboles y vides (Fereres y Goldhamer *et al.*, 1990; Dragoni *et al.*, 2004; Testi *et al.*, 2006). Una medida basada directamente sobre los árboles, tales como el potencial hídrico (Ψ), es el indicador más sencillo de estrés hídrico de la planta y, por lo tanto, de la necesidad de riego (Perez *et al.*, 1984), porque mide el efecto integrado de suelo, planta, y las condiciones atmosféricas en la disponibilidad de agua en el interior de la planta (McCutchan y Shackel *et al.*, 1992).

Cuando se aplica el riego a niveles inferiores a la ET_c, el cultivo extrae el agua de las reservas del suelo para compensar el déficit. Se pueden desarrollar dos situaciones más adelante: En un caso, si existe agua suficiente almacenada en el suelo y la transpiración no se ve limitada, a pesar de que el

volumen de riego de agua se reduce, el uso del agua no se ve afectado. Sin embargo, si el suministro de agua en el suelo es insuficiente para satisfacer la demanda de los cultivos, el crecimiento y la transpiración se reducen, y el RD induce una reducción de ET_c por debajo de su máximo potencial. La diferencia entre las dos situaciones tiene importantes implicaciones (Fereret *et al.*, 2003). En el primer caso, el RD no induce el ahorro de agua y los rendimientos netos no deben verse afectados. Si el agua almacenada en el suelo que se extrae se repone por las lluvias estacionales, la práctica RD es sostenible y tiene la ventaja de reducir el riego y el uso del agua. En el segundo caso, tanto el uso y consumo de agua (ET_c) se reducen en el RD, pero el rendimiento puede verse afectado negativamente.

Se entiende por riego deficitario sostenido (RDS) el que se aplica durante toda la campaña basada en aplicar un porcentaje de riego menor al 100% de las necesidades de riego. Mediante este tipo de riego se ahorran grandes cantidades de agua en relación al 100% o riego de control, aunque según los estudios realizados por Intrigliolo y Bonet (2012) se obtienen tamaños de fruta menores y un incremento vegetativo reducido. Esta forma de riego es aplicable a cultivos donde la escasez de agua o el valor de esta sean muy elevados y la cosecha vaya destinada a la industria y no a vender en fresco.

El riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de riego desarrollada en el cultivo del melocotonero y peral en Australia, y fundamentada en el uso del estrés hídrico para controlar el crecimiento vegetativo y su competición con el desarrollo del fruto (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell y Chalmers *et al.*, 1982; Chalmers *et al.*, 1986). El RDC tiene un enfoque más fisiológico que el riego deficitario (RD) ya que contempla tanto la fenología del cultivo como su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico. En el tiempo transcurrido desde que los investigadores australianos introdujeran el RDC ha quedado claro que con esta estrategia de riego se puede maximizar la producción por unidad de agua aplicada (Domingo *et al.*, 2005). Los mejores resultados se han obtenido en cultivos leñosos y hortícolas

de gran valor comercial cuando son cultivados en climas áridos y semiáridos (English *et al.*, 1990; Fereres y Soriano *et al.*, 2007; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2010).

Los objetivos principales de RDC son maximizar la productividad del agua (Fereres y Evans *et al.*, 2006; Fereres y Soriano *et al.*, 2007) y estabilizar las producciones (Zhang y Oweis *et al.*, 1999). El RDC se basa en la idea de reducir e incluso suprimir, cuando las lluvias proporcionen una determinada humedad en el suelo (Geerts y Raes *et al.*, 2009), los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción ni a la calidad de la cosecha, cubriendo plenamente la demanda hídrica de la planta durante el resto del ciclo del cultivo. El RDC se aplica generalmente en aquellos estados del ciclo de cultivo en los que el crecimiento reproductivo es relativamente lento y el crecimiento vegetativo y otros procesos de la planta pueden ser afectados, traduciéndose frecuentemente dichos efectos en una mejora de la calidad del fruto (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2010).

Los déficits hídricos conducen, de forma directa o indirecta, a niveles bajos de fotosíntesis y, por tanto, a la disminución de las fuentes de carbono (Syvertsen y Lloyd *et al.*, 1994). En función del estado de crecimiento de la planta y de la competencia por los fotoasimilados, estos pueden ir a unos órganos u otros, lo cual puede incidir en el crecimiento vegetativo y/o en la producción final.

El principal efecto del déficit hídrico en especies frutales, es la disminución del crecimiento vegetativo (Hilgeman *et al.*, 1977; Levy *et al.*, 1978). Afecta tanto al tamaño de los brotes como al número de hojas y su tamaño (Hsiao *et al.*, 1993), siendo el área foliar el parámetro que generalmente resulta más afectado en la mayoría de las plantas (Hsiao *et al.*, 1973, 1993). Esto supone una disminución de la incidencia de la radiación en la planta y una reducción de las pérdidas de agua por transpiración (Hsiao *et al.*, 1976), lo que significa una adaptación de la planta a la falta de agua.

Se ha comprobado que la baja disponibilidad de agua en el suelo reduce el crecimiento de las raíces (Bevington y Castle *et al.*, 1985; Bielorai *et al.*, 1982; Bielorai *et al.*, 1981; Hilgeman *et al.*, 1977). Generalmente, esta

disminución es menor que la de la parte aérea, resultando en un aumento de la relación raíces/parte aérea. Esto asegura un mejor suministro de agua al área foliar existente y constituye por tanto una adaptación favorable para la supervivencia en condiciones de sequía (Syvertsen *et al.*, 1985). La distribución en el suelo de las raíces en los árboles sometidos a déficit hídrico también cambia, distribuyéndose en zonas más profundas como medida de adaptación para mejorar la disponibilidad de agua (Bielorai y Levy *et al.*, 1971; Bielorai *et al.*, 1981; Marsh *et al.*, 1973).

El RDC ha sido aplicado con éxito en muchas especies frutales, entre las que destacan los cultivos del almendro (Goldhamer y Shackel *et al.*, 1989; Goldhamer y Viveros *et al.*, 2000; Romero *et al.*, 2004b; Girona *et al.*, 2005a, Egea *et al.*, 2012), albaricoquero (Pérez-Pastor *et al.*, 2009a), ciruelo (Intrigliolo y Castel *et al.*, 2005), limonero (Domingo *et al.*, 1996); mandarino (González-Altozano y Castel *et al.*, 1999), manzano (Ebel *et al.*, 1995), melocotonero (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell y Chalmers *et al.*, 1982; Li *et al.*, 1989; Goldhamer *et al.*, 2002; Girona *et al.*, 2005b; Dichio *et al.*, 2007), naranjo (Goldhamer y Salinas *et al.*, 2000; Pérez-Pérez *et al.*, 2008a, b), olivo (Moriana *et al.*, 2003; Gómez-Rico *et al.*, 2007; Iniesta *et al.*, 2009), parral (El-Ansary y Okamoto *et al.*, 2008), peral (Mitchell *et al.*, 1984, 1989; Chalmers *et al.*, 1986; Naor *et al.*, 2006), pistacho (Goldhamer y Beede, 2004; Guerrero *et al.*, 2006) y vid (Dos Santos *et al.*, 2007; Chalmers *et al.*, 2008; Cooley *et al.*, 2008).

1.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS GRANADAS. EFECTO DEL RIEGO

Debe partirse de la idea de que los consumidores valoran las granadas tanto por su atractivo externo (color y sabor de los arilos o el zumo) como por el convencimiento de su efecto sobre la salud (capacidad antioxidante). No existe ninguna relación entre el color de la piel y el de los arilos (Mellisho *et al.*, 2012), pero el color de la piel tiene una importancia clave en la aceptación de algunos mercados, tal y como ocurre con algunas frutas de hueso.

El tamaño de los frutos viene determinado, esencialmente, por el estado hídrico del cultivo durante la fase de crecimiento del fruto y las primeras etapas de la maduración, aunque otros factores, como el aclareo y la poda, puedan también influir de modo significativo. El color de la piel parece relacionarse con el tiempo transcurrido desde el inicio del crecimiento del fruto, tendiendo al predominio de tonalidades rojizas. Utilizando el espacio de color CIEL $*a^*b^*$, la evolución del color de la piel de las granadas podría definirse como una disminución constante de la luminosidad (L^*), de la coordenada de color azul-amarillento (b^*), y del ángulo hue (H°), y un aumento simultáneo de la coordenada verde-rojo (a^*) y del croma (C^*) (Galindo *et al.*, 2014a). El color de los arilos depende de la acumulación de antocianos durante la maduración, que les confieren un tono más rojizo (aumento del valor de la coordenada a^*) (Mellisho *et al.*, 2012).

Durante la maduración, la composición química de los arilos evoluciona hacia un aumento del contenido en azúcares y una disminución de la acidez, cuya relación se conoce como índice de madurez (Índice de madurez = sólidos solubles totales/acidez valorable). Este índice adquiere valores máximos en granadas de variedades dulces, intermedios en las agridulces y mínimos en las agrias (Carbonell-Barrachina *et al.*, 2012). Los azúcares que predominan en la granada son la fructosa y la glucosa, mientras que la sacarosa únicamente suele estar presente, en niveles traza, en las variedades agridulces (Melgarejo *et al.*, 2000). El perfil cualitativo y cuantitativo de ácidos orgánicos fluctúa en función de la variedad, aunque los ácidos cítrico, málico y oxálico suelen ser los más abundantes, y el tartárico, succínico y quínico los menos abundantes (Poyrazoglu *et al.*, 2002). Los niveles de bioelementos siguen el orden macro-elementos: $K > Ca > Mg > Na$ y micro-elementos: $Fe > Zn > Cu > Mn$. Siendo el K y el Fe son los macro y micro-elementos más abundantes, respectivamente (Mellisho *et al.*, 2012).

El zumo de granada es una de las bebidas con mayor capacidad antioxidante, pudiéndose establecer el siguiente orden: *zum de granada > vino tinto > zumo de uva > zumo de arándanos > zumo de mora = zumo de arándanos rojos > zumo de naranja = bebidas de té frío = zumo de manzana*

(Seeram *et al.*, 2008). Además, los niveles de compuestos bioactivos son también muy elevados en la corteza y las membranas carpelares (Tabla 2). Así, el alto contenido en taninos confiere a las granadas una alta capacidad para prevenir la oxidación del LDL (*Low Density Lipoprotein*) en sangre, con sus consiguientes efectos positivos sobre la placa de ateroma, disminuyendo los problemas circulatorios y coronarios. Además, la piel de las granadas posee actividad antibacteriana, antimutagénica, antiinflamatoria y antialérgica, por lo que puede ser considerada como un producto nutracéutico.

Además del ya mencionado periodo de rápido crecimiento del fruto, se ha demostrado que en la fase final de crecimiento del fruto y la maduración, el déficit hídrico induce cambios en el color y las características químicas, que muestran una aceleración de la maduración. Este efecto tiene lugar incluso en frutos de floraciones tardías, los cuales se caracterizan por su utilidad industrial dado su elevado contenido de sustancias bioactivas. Por tanto, si con riego deficitario se consigue un adelanto de la maduración de estos frutos de interés industrial, se abarata su producción.

Las granadas procedentes de árboles regados deficitariamente durante toda la estación poseen una piel más rojiza y presentan mayores contenidos de sólidos solubles, vitamina C, catequina, protocatequina, ácido protocatéquico y capacidad antioxidante total, aunque inferior firmeza. Desafortunadamente, otros resultados demuestran que el zumo de granada procedente de árboles regados deficitariamente es de inferior calidad y menos saludable que el procedente de bien regados, ya que el déficit hídrico induce un drástico descenso en compuestos bioactivos, esencialmente antocianos y punicalaginas, lo que, además, disminuye el atractivo color rojo del zumo de la granada (Mena *et al.*, 2013).

Merece la pena resaltar que el déficit hídrico afecta positivamente a las granadas para su conservación post-recolección. Concretamente, las granadas procedentes de árboles regados deficitariamente, durante la conservación en frío (90 días a 5 °C + 4 días a 15 °C), pierden menos humedad, conservan mejor la firmeza y las características sensoriales, y experimentan daños por frío 30 días después que las granadas procedentes de árboles bien regados.

Además, las granadas crecidas bajo riego deficitario aumentaron los contenidos en antocianos, catequina, ácido protocatéquico, ácido caféico y *p*-cumárico durante la conservación en frío en mayor medida que las de árboles bien regados (Peña et al., 2013).

Tabla 2. Principales compuestos bioactivos en diferentes partes de la granada y en el zumo.

	Parte	Compuestos
Fruto	Corteza y membranas carpelares	Elagitaninos, ácido elágico, flavonoides, taninos hidrolizables y taninos condensados
	Arilos	Elagitaninos, ácido elágico, ácidos orgánicos, azúcares y antocianinas
Zumo		Elagitaninos, ácido elágico, ácidos orgánicos, azúcares, antocianinas, minerales (especialmente K), aminoácidos

1.9. INDUSTRIALIZACION

Las granadas con pieles poco coloreadas, maduración poco homogénea, y/o con alguna de las fisiopatías ya mencionadas, son muy poco aceptadas por los consumidores, aunque pueden suponer un importante porcentaje de la producción de algunas explotaciones comerciales. Por tanto, su empleo para el desarrollo de co-productos y sub-productos derivados de la granada puede suponer una opción para revalorizar, en alguna medida, los frutos no comercializables en fresco.

El elevado número de publicaciones científicas describiendo efectos beneficiosos sobre la salud de la granada y sus productos derivados, está potenciando de forma exponencial el consumo de productos tales como zumos, mermeladas, gelatinas, bebidas refrescantes, bebidas fermentadas, vino de

granada, arilos en IV gama, arilos deshidratados, suplementos antioxidantes (corteza deshidratada), etc.

Los avances tecnológicos, los cambios en el estilo de vida y los cambios en los gustos de los consumidores favorecen el desarrollo de nuevos productos. Algunos de estos productos están ganando popularidad en los mercados domésticos e internacionales, siendo considerados como productos *gourmet* debido a su gran aceptación, a los efectos saludables y al gran periodo de conservación de estos productos. En una sociedad rápidamente cambiante, como es la actual, el zumo de granada es una opción perfecta para aquellos consumidores que están interesados en disfrutar de las propiedades saludables de este producto con la ventaja de encontrarlo disponible en supermercados como un alimento *ready to eat* sin tener que manipular la fruta para consumirla. Es importante dejar patente que los consumidores de zumo de granada lo hacen convencidos de sus enormes efectos saludables, más que por su color u otro atractivo externo.

No obstante, el análisis sensorial es una herramienta clave para el control de la calidad de la industria agroalimentaria de la granada, abarcando no sólo a la materia prima, el proceso de fabricación y al producto final, sino a la aceptación por los mercados de destino. En este sentido, existe un léxico sensorial específico para el zumo de granada con un total de 33 atributos muy variables con los diferentes zumos empleados en el estudio. Algunas de las diferencias en atributos tales como astringencia y amargor están relacionados con el procesado debido a operaciones unitarias tales como clarificación, concentración, pasteurización, presencia/ausencia de conservantes o presencia/ausencia de aromas artificiales.

Los precios más bien altos de las granadas para consumo en fresco, la escasez de materia prima barata para la industria y la demanda de zumos en la actualidad podrían explicar, a primera vista, el incremento de las adulteraciones de los zumos de granada. No obstante, existen otros factores que inducen a estas adulteraciones entre los que cabe mencionar i) el deseo de aumentar los márgenes comerciales o de abaratar el producto final, para lo cual se emplea fruta de baja calidad (más barata) u otras frutas de menor cotización con

características parecidas para el procesado, (ii) la necesidad de enmascarar la astringencia y amargor característicos de algunos zumos de granada, y (iii) la necesidad de mejorar la palidez de algunos zumos debido a los insuficientes niveles de antocianinas en el zumo.

Las adulteraciones más frecuentes consisten en la adición de azúcar para enmascarar la astringencia de los taninos, y la adición de zumos de otras frutas de color parecido al del zumo de granada. Estas adulteraciones se pueden identificar fácilmente cuando la composición química se desvía de forma considerable de los rangos que establece la *Asociación de Fabricantes de Zumos y Néctares de Frutas y Vegetales de la Unión Europea* (AIJN). En este sentido, el perfil de ácidos orgánicos puede ser empleado con éxito para detectar una adulteración de zumo de granada. Sin embargo, en el caso de los azúcares existen algunas controversias, ya que algunos autores afirman que la presencia de sacarosa en el zumo de granada debe ser considerada como un parámetro de calidad, mientras que otros afirman que la presencia de sacarosa es un claro ejemplo de adulteración con azúcar de caña. La presencia de potasio (K) en el zumo de granada no debe exceder de 2500 mg/l y el contenido de prolina debe estar en torno 250 mg/l.

1.10. IMPORTANCIA ECONOMICA

La situación mundial del cultivo de la granada es difícil de conocer con cierta exactitud, debido a que se trata de un cultivo marginal y que se produce en algunos países que se desconoce los datos de producción o superficie. Los datos obtenidos son por lo tanto estimaciones realizadas por en el que se sitúa a Irán como el principal productor de granada con más de medio millón de toneladas. En la Tabla 3 se aprecian los datos de superficie cultivada, producción y rendimiento de los principales productores (Holland *et al.*, 2008).

Hay que destacar, los datos que se le aplican a China, que se sitúa tercera en el ranking pero de la que se desconoce tanto la superficie cultivada como el rendimiento. En el ranking de hectáreas cultivadas (Figura 9) se aprecia como Irán sigue encabezándolo seguido de la India como los que mayor superficie de granado cultivan. En China no se conocen los datos de

superficie, pero por nivel de producción y por nivel de desarrollo de la agricultura se puede decir que está situada entre los tres primeros países. España en cuanto a superficie, la encontramos en el séptimo lugar por delante de Israel (Figura 9).

Las estimaciones mundiales de producción (Figura 10), que son con las que normalmente se mide el potencial de un país en referencia a cualquier cultivo, sitúan a Irán a la cabeza de la producción de granada seguida de la India y China. España a su vez es la sexta productora mundial por detrás de Turquía.

Tabla 3. Estimaciones de productores mundiales de granada. Datos obtenidos de una investigación de Yael Kachel, departamento de investigaciones de mercado, Ministerio de agricultura israelí (ISHS, 2008).

Países	Superficie cultivada (hectáreas)	Producción (Toneladas)	Rendimiento (qm/Hectárea)
Irán	65.000	600.000	92
India	54.750	500.000	91
China	Desconocido	260.000	Desconocido
U.S.A.	6.070	110.000	181
Turquía	7.600	90.000	118
España	2.400	37.000	154
Túnez	2.600	25.000	96
Israel	1.500	17.000	113
Otros ¹	Desconocido	Desconocido	Desconocido

Otros¹: Egipto, Marruecos, Chile, Argentina y Australia.

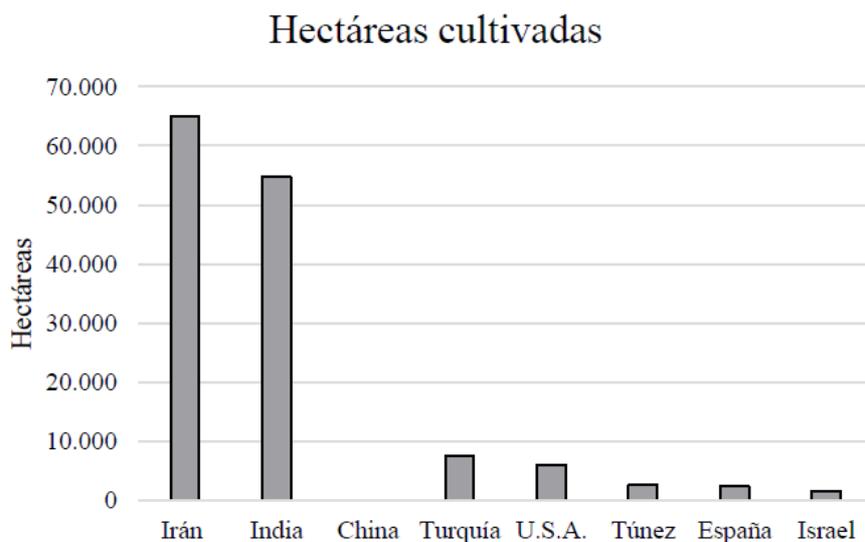


Figura 9. Superficies cultivadas de los principales países productores. Según Yael Kachel (2008).

En el rendimiento expresado en cientos de kilos por hectárea (Figura 11), ocurre un cambio significativo. U.S.A. ocupa el primer lugar superando los 180 qm/ha seguido de España, Turquía e Israel, que coinciden con algunos de los países que más desarrollan la agricultura mediante investigaciones y tecnología. Gracias a esto con poca superficie cultivada se obtienen en grandes producciones.

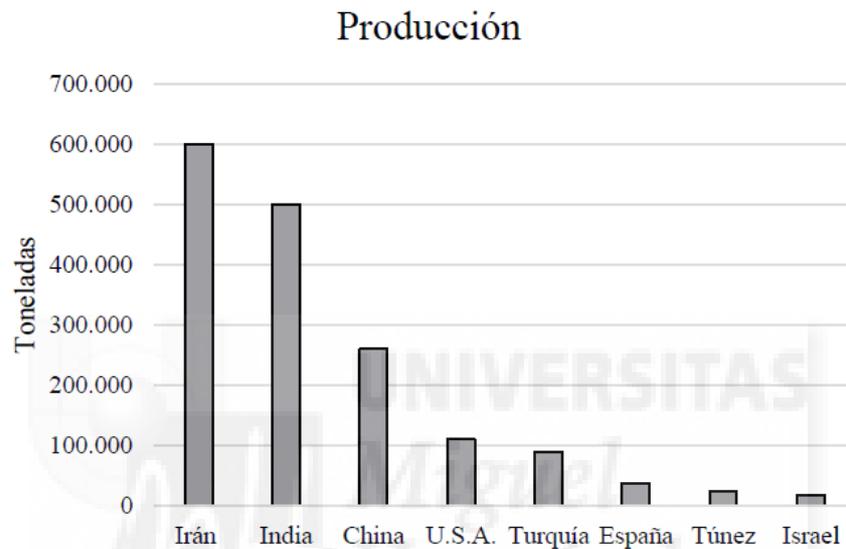


Figura 10. Producción de los principales países productores de granada. Según Yael Kachel (2008).

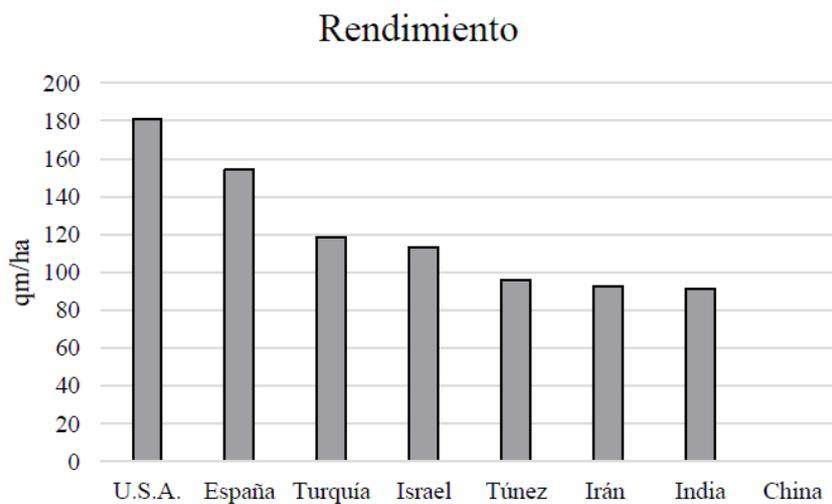


Figura 11. Rendimiento de los principales países productores de granada. Según Yael Kachel (2008).

A nivel nacional, se encuentran datos de producción, superficie cultivada, rendimiento y precios medios percibidos gracias al MAGRAMA, que recopila esta información de los diferentes cultivos establecidos en el país. En la Tabla 4 se puede apreciar la evolución de los diferentes datos recopilados de los últimos diez años registrados.

En Figura 12 se puede apreciar cómo ha habido una tendencia bajista desde el 2002 en cuanto a número de hectáreas cultivadas hasta el año 2004 en la cual se mantiene hasta el año 2010 donde vuelve a comenzar a ascender. En el año 2002 se alcanza la máxima superficie cultivada durante los 10 años revisados con 2.864 hectáreas y la mínima tiene lugar en el año 2010 con 2.198 hectáreas.

Tabla 4. Evolución de la superficie cultivada, producción, rendimiento y precio percibido de la granada en España (MAGRAMA, 2012).

Años	Hectáreas en producción (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento de la superficie en producción (qm/ha)	Precio medio percibido por los agricultores (euros/100kg)
2002	2864	37.424	130,7	52,99
2003	2537	35.320	139,2	49,75
2004	2326	29.804	128,1	59,47
2005	2314	28.812	124,5	51,34
2006	2270	27.389	120,7	69,30
2007	2281	25.632	112,4	83,01
2008	2302	23.169	100,6	87,95
2009	2230	22.311	100,0	59,59
2010	2198	26.582	120,9	80,20
2011	2285	32.606	142,7	64,17
2012	2398	36.495	152,2	66,27

Evolución superficie en producción (miles de hectáreas)

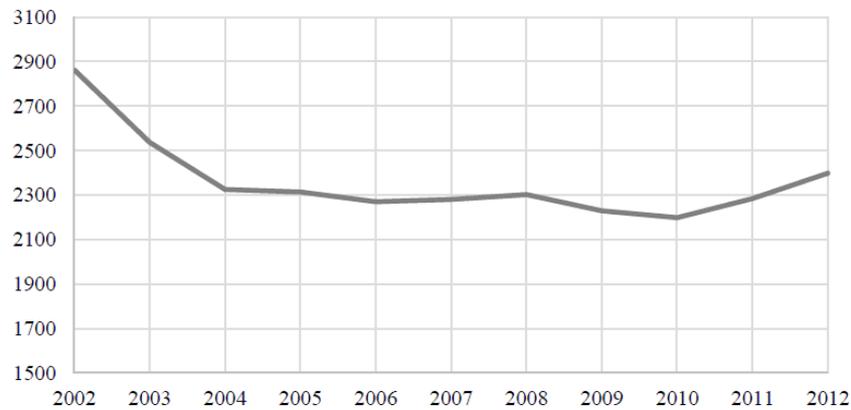


Figura 12. Evolución de la superficie de producción de granada en España (MAGRAMA, 2012).

Con la evolución de la producción ha ocurrido algo similar aunque en este caso no ha habido un período de mantenimiento de la producción sino que desde el año 2002 la producción no ha hecho más que descender hasta el 2009 que llega al mínimo con 26.582 toneladas producidas y a partir de este año comienza a ascender hasta el 2012 con una producción de 36.495 (Figura 13).

Evolución de producción (toneladas)

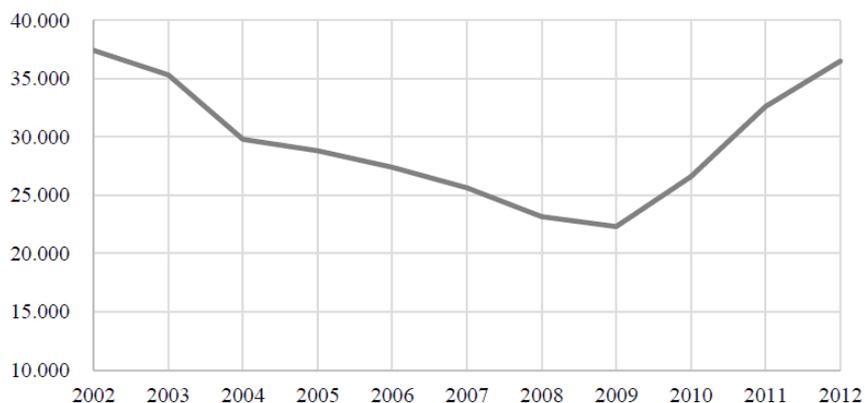


Figura 13. Evolución de la producción total de granada en España (MAGRMA, 2012).

Al rendimiento también le ocurre algo similar a los dos parámetros anteriormente citados, si bien, hay que mencionar que el rendimiento más alto alcanzando durante el período de 10 años se sitúa en el último y más reciente, debido a la mejora de la técnicas y manejo del cultivo llevadas a cabo en los últimos años. Desde el año 2003 con 139,2 qm/ha, el rendimiento presenta una tendencia negativa hasta los 100 qm/ha y a partir del año 2009 comienza una escalada hasta el año 2012 con el máximo de 152,2 qm/ha (Figura 14).

Debido a la demanda de la granada por sus cualidades beneficiosas para la salud, las producciones tienen una tendencia alcista, así como las superficies cultivadas. Y a estas dos le acompaña el aumento del rendimiento en un cultivo marginal que poco a poco se hace un hueco en el mercado.

En la Tabla 5 se muestra la producción y el rendimiento de las comunidades autónomas de España productoras de granada, pudiéndose apreciar claramente como la provincia de Alicante es el principal productor de toda España a la vez que también posee los mejores rendimientos de producción. De las 36.495 toneladas totales, Alicante produce 34.254 de ellas con un rendimiento de 17.000 qm/ha, mientras que Andalucía en producción está muy lejos con 1.223 toneladas y con un rendimiento de tan solo 6.618 qm/ha. Cataluña es la única que se acerca al rendimiento de la Comunidad Valenciana con 12.000 qm/ha, aunque la producción es irrelevante puesto que solo cuenta con 12 toneladas.

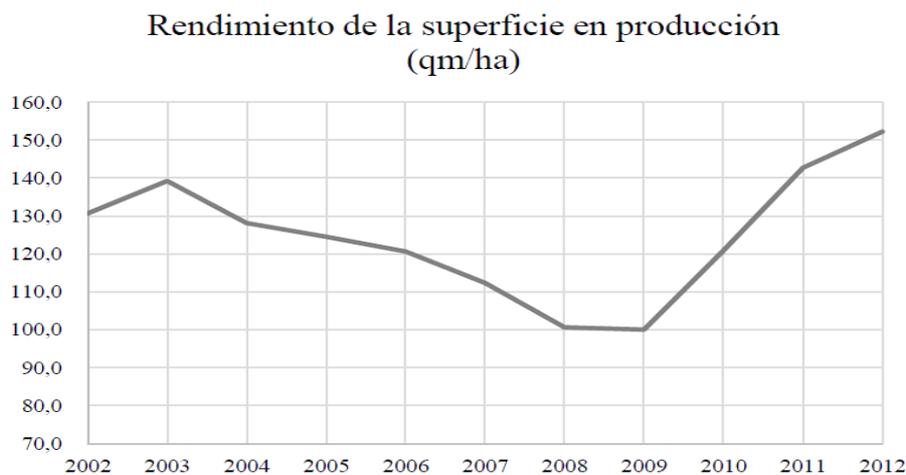


Figura 14. Evolución en el rendimiento de la superficie en producción de granada en España (MAGRAMA, 2012).

Tabla 5. Rendimiento y producción total de granada por comunidades autónomas (MAGRAMA, 2012).

Comunidades Autónomas	Rendimiento de superficie en producción (kg/ha)		Producción Total (Toneladas)
	Secano	Regadío	
CATALUÑA	—	12.000	12
BALEARES	—	8.700	40
Castellón	—	1.000	13
Valencia	1.900	12.300	190
Alicante	—	17.000	34.254
C. VALENCIANA	1.900	16.864	34.457
R. DE MURCIA	—	5.000	510
ANDALUCÍA	1.797	6.618	1.223



2. OBJETIVOS

El objetivo global de este trabajo se centró en el estudio del efecto del aclareo de frutos en el granado (*Punica granatum* L.) sobre el estado hídrico del cultivo y la calidad comercial de la fruta.

Este objetivo global se realizó a través de los siguientes objetivos parciales:

- Estudiar el efecto de distintos tratamientos de riego y niveles de aclareo de fruto sobre el potencial hídrico del tallo y la conductancia estomática
- Evaluar el efecto de los distintos tratamientos de riego y aclareo sobre la producción y características físicas de las granadas (peso unitario, tamaño y color de la piel)
- Conocer el efecto de los tratamientos de riego y aclareo sobre las principales características de las granadas que determinan su valor comercial (índice de madurez, sólidos solubles, acidez y color del zumo)

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1.1. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal empleado para este estudio ha sido el granado (*Punica granatum* L.) variedad “Wonderful” (Figura 15). Se trata de una variedad que ofrece unas cualidades de calidad y producción óptimas en la zona del sureste. Se adapta muy bien a la climatología y edafología de la zona.



Figura 15. Granado adulto var. Wonderful en finca experimental Tres Caminos, Santomera (Murcia)

Los árboles objeto de estudio están situados en la finca experimental Tres Caminos de CEBAS-CSIC (38.061531 N, 1.020400 W, altitud 142 m) (Figura 16), finca situada en el termino de municipal de Santomera (Murcia). Se trata de árboles maduros de 6 años de edad, cuya formación es la adecuada y no presentan síntomas de enfermedad.



Figura 16. Parcela experimental de granado en finca Tres Caminos, Santomera (Murcia)

3.1.2. CONDICIONES CLIMATICAS

Los datos meteorológicos usados para este ensayo, son los recogidos por la estación meteorológica de Tres Caminos (Figura 17), en el término municipal de Santomera, Murcia (38.062104 N, 1.02504 W).



Figura 17. Estación climática de Tres Caminos (Santomera, Murcia).

En la tabla 6 se puede apreciar las condiciones climáticas de la zona que se han recogido con los datos de las precipitaciones, la humedad relativa, las temperaturas máximas y mínimas, la velocidad del viento, la radiación, las horas de sol medias y la evapotranspiración.

Tabla 6. Datos climáticos más relevantes con las medias de los cuatro meses más importantes.

ESTACIÓN	MES	Año	ET ₀	Precipitación (mm)	Temp media (°C)	Temp máxima (°C)	Humedad relativa media(%)	Velocidad del viento(Km/h)	Radiación(Mj/m ²)	Horas de sol media)
Tres Caminos (Santomera)	1	2015	48,20	18,20	10,87	23,40	56,35	3,67	98,34	7,42
Tres Caminos (Santomera)	2	2015	60,20	14,20	11,36	22,3	56,99	7,12	109,41	8,56
Tres Caminos (Santomera)	3	2015	81,80	46,60	14,7	31,4	63,13	4,98	157,51	9,12
Tres Caminos (Santomera)	4	2015	108,30	5,40	16,78	31,6	63,16	7,47	195,04	10,63
Tres Caminos (Santomera)	5	2015	160,70	11,60	21,97	38,9	52,67	6,6	267,31	11,02
Tres Caminos (Santomera)	6	2015	136,50	43,00	23,81	38,2	54,67	4,99	274,8	11,96
Tres Caminos (Santomera)	7	2015	158,1	0,00	25,34	40,7	48,61	4,41	368,31	12,12
Tres Caminos (Santomera)	8	2015	144,8	1,00	27,74	37,3	46,8	4,76	349,16	10,69
Tres Caminos (Santomera)	9	2015	98,8	87,60	25,53	33,9	57,37	3,34	189,27	9,34

Como se puede apreciar en los datos climatológicos de la tabla 6 la temperatura no es inconveniente para el cultivo del granado; al contrario, es beneficioso para su desarrollo vegetativo, ya que las altas temperaturas le favorece en su desarrollo. Las precipitaciones son bajas, lo cual beneficia al cultivo en la época de fructificación y maduración de la fruta, ya que la lluvia durante estos periodos provoca el rajado de los frutos. La humedad relativa tampoco presenta problemas al cultivo con los datos obtenidos; sin embargo, el dato de las precipitaciones es preocupante, si se quiere producir una fruta de calidad y no hay agua de riego disponible en la parcela.

Según se observa en la grafica (Figura 18) las precipitaciones no cubren las necesidades de la evapotranspiración de referencia durante todo el año, por lo que en nuestro ensayo el agua de riego es necesaria. Para ello disponemos de una fertirrigación adecuada para cumplir las necesidades de nuestro cultivo.

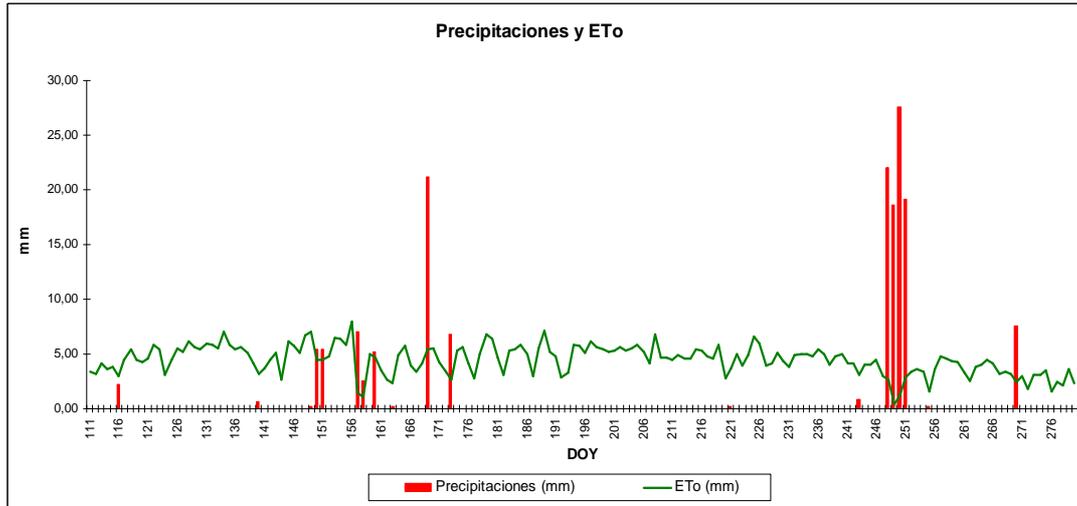


Figura 18. Gráfica comparativa entre ETo y las precipitaciones durante el periodo experimental de la estación meteorológica de la finca Tres Caminos, Santomera (Murcia)

Durante el experimento, la media diaria máxima y mínima las temperaturas del aire fueron 33.08 y 7.21C, respectivamente, y el promedio humedad relativa media fue de 55.53% (datos no mostrados). La precipitación total fue muy baja (227.60 mm), cayendo principalmente en DOY 175 y 239 (Figura 18). El déficit de presión de vapor media (DPVm) diaria y la temperatura media del aire (Tm) fluctuó, alcanzando valores promedio de 1.30 kPa y 20.12 °C, respectivamente (Figura 19). ETo diaria total alcanzó 795.30 mm (Figura 18)

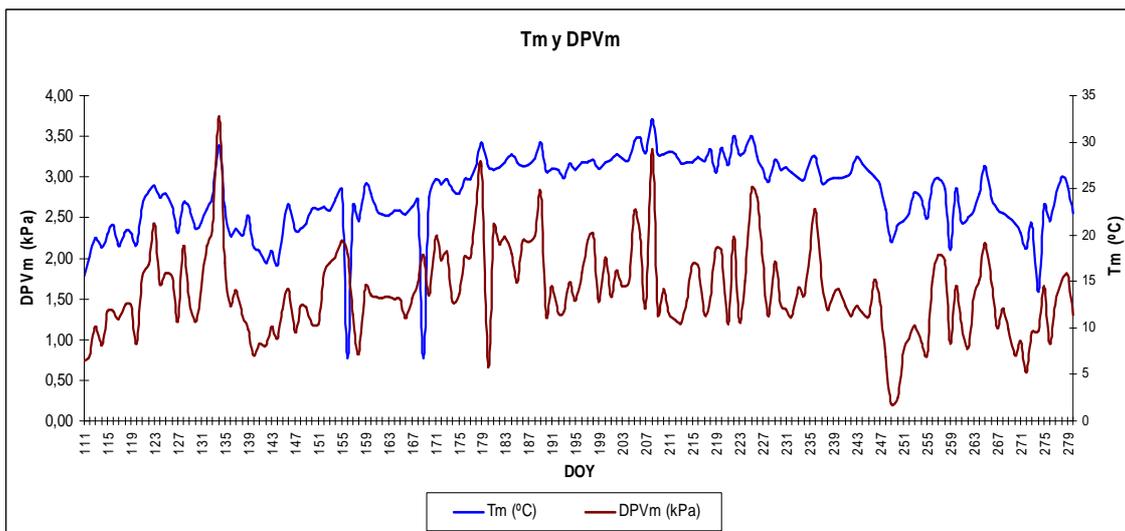


Figura 19. Gráfica comparativa entre temperatura media (Tm) y déficit de presión de vapor media diaria del aire (DPVm) durante el periodo experimental de la estación meteorológica de la finca Tres Caminos, Santomera (Murcia).

3.1.3. CONDICIONES EDAFICAS

Nuestra parcela está situada en Santomera (Fotografía 16), en la finca experimental Tres Caminos de CEBAS-CSIC (38.061531 N, 1.020400 W). Las condiciones edafológicas que la caracteriza son una cobertura promedio de tierra de aproximadamente 65%. El suelo es un PARALYTIC MOLLIC-CALCIORTHID, y el perfil muestra sólo una leve diferenciación entre horizontes (un epipedón ócrico en un horizonte C). El suelo franco arcilloso del sitio experimental (1,28% de materia orgánica, 4,92 mmol kg⁻¹ disponible de potasio, 1,81 mmol kg⁻¹ fósforo disponible, 51% de contenido de cal y pH de 7,8) se caracteriza por un contenido de agua volumétrico de 0.19m³ m⁻³ de capacidad de campo y 0,08 m³ m⁻³ de punto de marchitez permanente, 1,5 g cm⁻³ de densidad mayor, alto contenido de piedra (43% en peso) y 8,0 cm h⁻¹ de conductividad hidráulica saturada, lo que proporciona una excelente drenaje interno. Las prácticas de control de plagas y fertilización fueron las comúnmente utilizadas por los productores de la zona, y no hay malas hierbas.

3.2 TRATAMIENTOS

Los granados se sometieron a cuatro tratamientos diferentes. Concretamente, desde el día del año (DA) 111 al 280, las plantas control (T0) se regaron al 120 % de la ETc y se les eliminaron todos los frutos a fin de asegurar un estado hídrico adecuado. Desde el DA 182 al 280 las plantas de los tratamientos T1, T2 y T3 se regaron deficitariamente, 60 % ETc, y se sometieron a distintos niveles de carga de frutos. A los árboles del tratamiento T1 se les eliminaron todos los frutos, mientras que a los del tratamiento T2 se les hizo un aclareo comercial y a los del tratamiento T3 se les mantuvo todos los frutos en los árboles.

3.3. RIEGO Y FERTILIZACIÓN

El riego se realizó con una manguera portagoteros de polietileno de 16 mm de diámetro, con unos 4 goteros por árbol insertados en la manguera de 4 l h⁻¹ cada uno y con un coeficiente de uniformidad del 97%. Se establece una

sola manguera portagoteros por línea, los primeros goteros están separados del tronco 30 centímetros y los segundos a unos 50-60 centímetros.

El agua de riego utilizada tenía una conductividad eléctrica media de 1.1 dS m⁻¹. La concentración media de Cloruros en el agua de riego fue de 26 mg l⁻¹ durante el periodo experimental. Y un pH de 7.81.

Los requerimientos hídricos del cultivo (ETc) se determinaron de acuerdo con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y un coeficiente de cultivo basado en el momento del año y el porcentaje de suelo sombreado por los árboles. Los niveles de ETo fueron calculados de acuerdo con la ecuación de Penman-Monteinth (Allen et. al. 1998) con los datos horarios de la estación agroclimática del Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM), ubicada a 8.4 Km. de la finca experimental.

Los abonos empleados para realizar los diferentes tratamientos con sus riquezas, quedan expuestos en la tabla 7.

Tabla 7. Elementos y riquezas de los abonos empleados.

Elemento	Abono	Riqueza
Nitrógeno	Nitrato Amónico	37,20%
Fosforo	Acido Fosforico	75%
Nitrógeno	Nitrato de Magnesio	11%
Magnesio		16%
Hierro	Quelato de Hierro	6%
Fosforo	Fosfito de Potasio	42%
Potasio		28%
Nitrogeno	Nitrato de Calcio	15,50%
Calcio		25,40%
Potasio	Sulfato de Potasio	25,50%
Nitrato	Nitrato de Potasio	13%
Potasio		46%

El programa de fertilización del cultivo de granado durante los meses del ensayo fue establecido por TRATAMIENTOS GUMALBA S.L.

Tabla 8. Unidades fertilizantes completas de abonado necesario para el cultivo

MES	U.F (Kg)					
	N	P	K	Mg	Ca	Fe
Marzo	8	3,17	1,67	1,67		3,33
Abril	9,67	3,17	8,33	0,0		
Mayo	12	3,17	9,67	6,67		
Junio	6,67	1,67	10	3,33	6,67	
Julio	8	1,67	9,67		22	1
Agosto	10,67	3,33	14		5	
Septiembre		10,67	10,67			
Total Kg	55	26,83	64	11,67	33,67	4,33

El grupo de bombeo y filtrado empleado es el que se muestra en la figura 19, el cual obtiene el agua de un embalse propio y es el encargado de hacer funcionar todo el riego de la parcela. En esta finca experimental se cuenta además con un tanque de abonado en el que se realizaron las mezclas de los diferentes abonos. El programador utilizado funciona con 4 sectores al cual se le ha introducido el volumen de agua aplicada para cada sector. A parte se dispone de 4 electroválvulas programables, encargadas de dar paso al agua de riego.



Figura 19. Equipo de bombeo, abonado y programador empleados en la finca.

3.4 PARAMETROS ANALIZADOS

3.4.1. CRONOLOGÍA DE LAS TAREAS

En nuestro ensayo se ha realizado una serie de tareas para poder comparar en las distintas fases el cambio fisiológico de nuestro cultivo (Tabla 9).

La medida de potencial de tallo se realizó una vez por semana desde principios de junio hasta una semana después de la última recolección, primeros de octubre. La conductividad estomática, a su vez, se midió de forma semanal desde mediados de junio a principios de octubre. La recolección del aclareo se realizó en momentos puntuales, en los que los operarios de la parcela lo realizaron de forma manual. Por último se recolectó la cosecha para controlar su producción y calidad.

Tabla 9. Tareas realizadas durante el ensayo

Fecha	Medición potencial hídrico de tallo	Medición conductancia estomática	Aclareo	Cosecha
01/06/2015	X	-	-	-
08/06/2015	X	X	-	-
15/06/2015	X	X	X	-
22/06/2015	X	X	-	-
29/06/2015	X	X	-	-
06/07/2015	X	X	-	-
13/07/2015	X	X	-	-
20/07/2015	X	X	-	-
27/07/2015	X	X	-	-
03/08/2015	X	X	-	-
10/08/2015	X	X	-	-
17/08/2015	X	X	-	-
24/08/2015	X	X	-	-
31/08/2015	X	X	-	-
07/09/2015	X	X	-	X
14/09/2015	X	X	-	-
21/09/2015	X	X	-	-
28/09/2015	X	X	-	X
05/10/2015	X	X	-	-

3.4.2. POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO

Es interesante conocer el estado hídrico de los árboles sometidos a ensayo para discernir si estos están sometidos a estrés hídrico, y por lo tanto la dosis de riego deberá aumentarse para satisfacer las necesidades.

En nuestro ensayo se ha empleado una cámara de presión tipo Scholander, modelo 3000F01 (Figura 20) y gas N₂ con el que se aumentaba gradualmente la presión en el interior de la cámara.



Figura 20. Cámara de presión utilizada (Scholander, modelo 3000F01)

Para que las mediciones de potencial fueran acordes con el potencial real del tallo, las hojas muestreadas debían estar en una zona de sombra, dentro de un sobre plateado (Figura 21) que reflejase la luz solar y cerrado lo más herméticamente posible durante una hora, sino los valores obtenidos estarían falseados. Además una vez cortadas las hojas por el peciolo, deben de someterse lo antes posible a la medición, de lo contrario la hoja empieza a deshidratarse y por lo tanto los valores tampoco serán correctos (Taiz y Zeiger *et al.*, 2010). Se trata de un método destructivo pero fácil y rápido en cuanto al trabajo que conlleva.

Las diferentes fases que se realizaron para la medición del potencial fueron las siguientes:

- En primer lugar se elige el grupo de árboles pertenecientes a los tratamientos que se quieren estudiar.
- En una hora cercana al medio día solar, se ponen los sobres (Figura 21) en las hojas deseadas (hojas adultas representativas con un peciolo lo más largo posible). Se ponen dos sobres por árbol, para tener una hoja de reserva en caso de error en la toma de datos.
- Una vez se han puesto todos los sobres, se espera una hora hasta que el potencial de la hoja y el tallo se equilibren.

- Por último pasada la hora, y estando lo más cerca posible del medio día solar, se comienza a medir el potencial lo más rápido posible después del corte del peciolo.



Figura 21. Hoja cubierta con papel de aluminio para su posterior medida de potencial hídrico.

3.4.3 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.

La conductancia estomática (g_s), es una variable muy importante para evaluar el estado hídrico de la planta, el balance de energía y las relaciones fotosintéticas.

Además se ha comprobado la estrecha relación que existe en muchos cultivos entre el cierre estomático y la falta de agua en el suelo, haciendo de la “ g_s ” por sí misma un indicador del estrés hídrico mucho más preciso que los parámetros utilizados habitualmente.

El porómetro mide la Conductancia Estomática (g_s) de las hojas usando la técnica del Estado Estacionario. Esta técnica mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja. Para nuestro ensayo hemos utilizado un porómetro DELTA T AP4 (Figura 22). Las medidas se realizaron a medio día, sobre las 13:00; en los árboles designados a controlar, efectuando dos medidas por árbol, en hojas diferentes y teniendo en cuenta que la hoja estuviera sana.



Figura 22. Porómetro empleado en el ensayo para medir la conductancia estomática.

La pinza del porómetro (Figura 23), que incorpora la cámara, con un recorrido de difusión conocido, se fija a la superficie de las hojas, y a continuación se comienza a medir la presión de vapor entre dos puntos de esta trayectoria, para calcular el flujo y el gradiente con las medidas de presión de vapor y conductancia de difusión conocida.



Figura 23. Pinza del porómetro en proceso de medición

3.4.4 PRODUCCION

Los datos que se recopilaron de la producción de nuestro ensayo han sido la cantidad de frutos y el peso total que ha salido por árbol y por tratamiento empleado. Para el pesado de los frutos se ha utilizado una báscula eléctrica, en la cual la fruta era pesada en una caja, previamente tarada con el peso de la caja, y se recolectaron los datos para su posterior análisis.

3.4.5. CALIDAD

En una pasada representativa para cada tratamiento se tomó una muestra de 10 frutos por árbol. Se determinó para cada fruto una serie de parámetros morfológicos; el peso, diámetro ecuatorial máximo, longitud desde la base de la granada a la base del cáliz, longitud del cáliz, peso de la corteza y las membranas carpelares, grosor de la corteza; y unos parámetros de color de fruto y de los arilos. Para el total de la muestra se determinó el contenido en sólidos solubles totales (SST), la acidez titulable, pH, porcentaje de humedad e índice de madurez.

El peso medio del fruto se determinó con una balanza digital de precisión 0,1 g. El calibre (diámetro ecuatorial máximo), longitud del cáliz y longitud desde la base de la granada a la base del cáliz se midió con un pie de rey digital de precisión 0,01 mm. Para medir el color se utilizó un colorímetro digital (Minolta CR-400), según el espacio de color CIE 1978 $L^*a^*b^*$. El parámetro L^* representa la luminosidad y va de 0 (negro) a 100 (blanco); el parámetro a^* representa la variación entre el color rojo (+) y el verde (-) y el parámetro b^* representa la variación entre el amarillo (+) y el azul (-).

Del zumo obtenido mediante el licuado y posterior filtrado de los 10 frutos de cada árbol se obtuvo el contenido en SST, la acidez, el pH, el porcentaje de humedad y el índice de madurez. Los SST ($^{\circ}$ Brix) se midieron con un refractómetro digital modelo Atago PAL-1. La acidez, expresada en gramos de ácido málico por litro de zumo, se valoró con NaOH 0,1 N (Martínez-Calvo et al., 2000) utilizando como indicador el viraje de color con fenolftaleína 0,1 % en una bureta autoenrasante, empleando 5 ml de zumo. Para la

agitación y homogenización de la muestra durante la valoración un agitador magnético.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue completamente aleatorio con cuatro repeticiones, cada una de ellas consistió en tres filas adyacentes de árboles con cinco árboles. Todas las medidas se realizaron en el árbol central de los cinco de cada repetición. Los árboles no utilizados para medidas sirvieron de “bordes”. Se realizó el correspondiente análisis de la varianza y la comparación de medias se realizó según el test de la LSD al 5% de probabilidad.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO

El potencial hídrico se midió sobre los cuatro tratamientos para evaluar si estos tenían consecuencias sobre el estado hídrico de las plantas tratadas. Así se asegura que los efectos producidos sobre el tamaño del fruto y el aclareo son provocados por la falta de agua.

Los valores presentados en el gráfico de la Figura 24 están medidos en MPa, con valores negativos, puesto que es la presión de retención de la planta contra la pérdida de agua por evapotranspiración. Por lo tanto cuanto menor sea el potencial la planta estará sometida a mayor estrés. Las diferencias significativas entre los distintos tratamientos se ven claramente desde el día 189 hasta el día 266. En el tratamiento T0, control, los valores de Ψ_{tallo} fueron altos y casi constantes durante todo el periodo de medidas, alcanzando valores entre potenciales de -0.83 y -1.00 MPa y en cambio los tratamientos T1, T2 y T3, con déficits de riego, los valores de Ψ_{tallo} se sitúan entre potenciales de -1,03 y -1,63 MPa, siendo irregulares constantemente y siguiendo una línea descendente desde que se le incorpora el riego deficitario, día 182 hasta día 280.

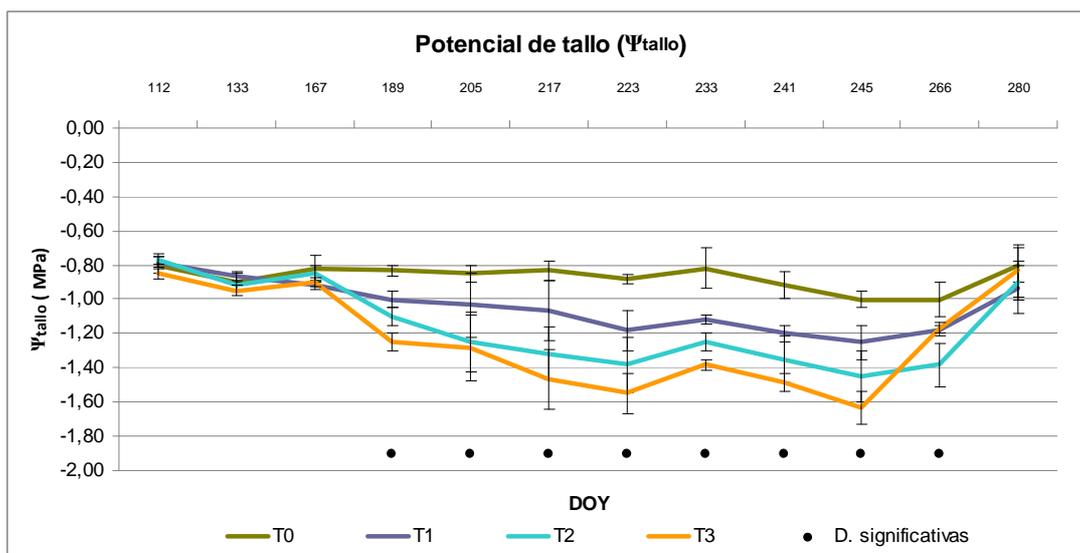


Figura 24. Potencial del tallo en los tratamientos T0, T1, T2, T3.

Los niveles mínimos de Ψ_{tallo} observados en las plantas de los tratamientos T1, T2 y T3 indicaron el desarrollo de un importante nivel de estrés hídrico como consecuencia de la implantación de riego deficitario. La diferencia descendente de Ψ_{tallo} entre los tratamientos T1, T2 y T3 se debe a la absorción del agua por los frutos, de ahí que el tratamiento T3, sin aclareo, esté más bajo que el resto de tratamientos.

4.2 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

Los niveles de g_l en los árboles control (T0) fluctuaron, presentando una clara tendencia a aumentar conforme avanzó la estación (Figura 25). Los tratamientos T1, T2 y T3, sometidos a estrés hídrico, originó una significativa reducción de g_l a partir del día 204, reflejando un importante nivel de regulación estomática. Los niveles de g_l de los tratamientos T1, T2 y T3 permanecieron por debajo de los observados en las plantas del tratamiento T0 durante todo el ensayo.

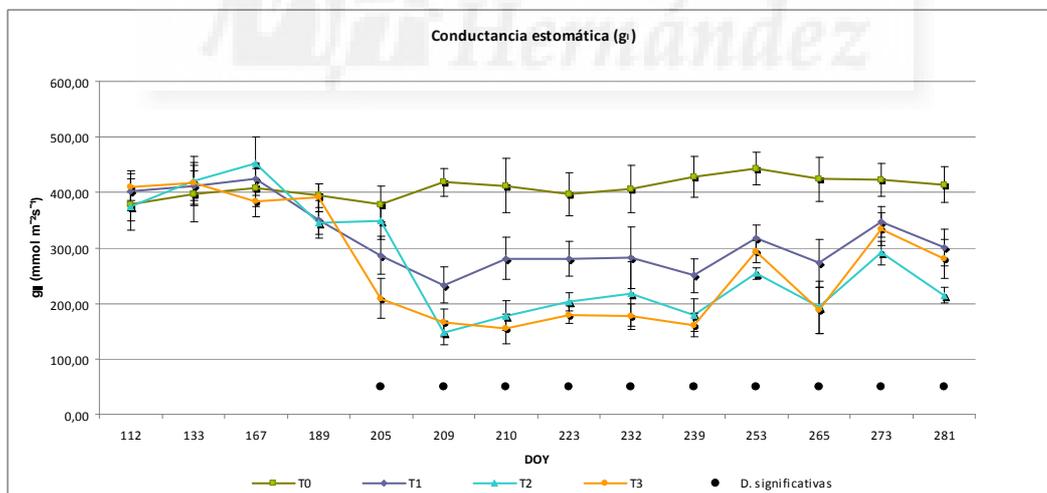


Figura 25. Conductancia estomática de los tratamientos T0, T1, T2, T3.

Los tratamientos T1, T2 y T3, con riego deficitario, se observa que las líneas tienen diferentes pendientes descendentes (Figura 25), lo que podemos deducir que es por el tipo de aclareo realizado, ya que el tratamiento T1, sin

frutos, su nivel de g_l está por encima de los tratamientos T2 y T3, con aclareo comercial y sin aclareo respectivamente.

4.3 PRODUCCION

De los cuatro tratamientos que tenemos en nuestro ensayo sólo se ha calculado la producción de los tratamientos con riego deficitario T2, con aclareo comercial, y T3, sin aclareo. Los tratamientos T0 con riego control y T1 con riego deficitario se les realizaron un aclareo total de los árboles y por tanto solo tenemos datos de los frutos del aclareo.

Los datos de la tabla 10 reflejan una producción y un número de frutos por árbol del tratamiento T2, con un aclareo comercial, que son levemente inferiores al tratamiento T3, sin aclareo; no recogen diferencias significativas, por lo que podemos deducir que aunque estén ambos tratamientos con un riego deficitario y se les haya realizado diferentes tipos de aclareo no influye en el peso de la producción aunque si en el numero de frutos por árbol.

Se aprecia un leve incremento en el peso por pieza de fruta del tratamiento T2 con respecto al tratamiento T3, sin reflejar ningún tipo de diferencia significativa, lo que nos indica que aunque ambos tratamientos estén sometidos a déficit hídrico la importancia del aclareo repercute en el peso del fruto.

El número de frutos y producción con respecto a la sección del tronco se observa que el tratamiento T3 está ligeramente por encima del tratamiento T2, aunque no hay evidencias de diferencias significativas. El número de frutos totales de producción y aclareo manifiestan diferencias significativas, en la que estadísticamente el tratamiento T0 con un riego controlado, y T1 y T2 en estado de déficit hídrico son significativamente idénticos, aunque la diferencia de cantidad de frutos es existente; al mismo tiempo son similares significativamente los tratamientos T1 y T2. El tratamiento T3 es diferente al resto de tratamientos empleados.

Tabla 10. Parámetros de producción de los tratamientos T0 (riego 120% ETc, sin frutos), T1 (60% ETc, sin frutos), T2 (60% ETc, aclareo comercial) y T3 (60% ETc, sin aclareo) en producción/ árbol (kg/árbol), número de frutos por árbol (nº frutos/ árbol), producción por sección del tronco (kg/cm²), producción total por sección tronco (nº frutos recolectados y nº frutos eliminados en el aclareo/ cm²). NS = diferencias no significativas entre tratamientos (p< 0.05). Los valores medios dentro de una columna que no tienen ninguna letra en común fueron diferentes según el test de la LSD_{0,05}.

	Parámetros producción				
	Producción/ Arbol (Kg)	Nº Frutos/ Arbol	Nº Frutos/ S. Tronco (cm ²)	Producc/ S. Tronco (kg/cm ²)	F. Poducción + F. Aclareo
Test ANOVA[†]	NS	NS	NS	NS	LSD 0,05
Tratamientos					
T0	0	0	0	0	218.3a
T1	0	0	0	0	206.7ab
T2	24.22	75.0	1.7	0,547	169.0ab
T3	30.57	104.3	2.8	0,798	104.3c

Estas diferencias significativas nos llevan a la discusión de que ambos tratamientos de riego deficitario, T2 con aclareo comercial y T3 sin aclareo, no influyen en el peso de la producción final pero si influye en el calibre de la fruta y, por tanto, el peso por pieza de fruta del tratamiento T2 con respecto al tratamiento T3 es mayor. Con respecto al número de frutos totales las diferencias estadísticas son significativas, donde podemos observar que la cantidad de frutos del tratamiento con riego controlado T0 es mayor que el resto de tratamientos con riego deficitario T1, T2 y T3, lo cual nos hace indicar que el riego tiene un efecto sobre el numero total de frutos por la caída de frutos.

4.4. CALIDAD

4.4.1 PARAMETROS MORFOLOGICOS

El peso del fruto es uno de los principales parámetros de calidad en la comercialización de la fruta. El tratamiento T2 con riego deficitario y con aclareo comercial fue el que obtuvo los frutos de mayor peso medio (348.26 g) con poca diferencia respecto tratamiento T3 con riego deficitario y sin aclareo (308.94 g) reflejado en la tabla 33. Por lo que podemos indicar que el aclareo

realizado al tratamiento T2 ha hecho que el peso del fruto sea mayor y no hayan salido frutos de menor calibre.

Otro parámetro de calidad relacionado con el tamaño del fruto es el calibre del mismo expresado por su diámetro ecuatorial. Los frutos con mayor calibre alcanzan mejores precios. Los valores de calibre medio oscilaron entre los 90.1 mm del tratamiento T2 y los 89.7 mm medidos en el tratamiento sin aclareo T3 (Tabla 11). El análisis de la varianza demuestra de nuevo que no hubo diferencias significativas ($p=0,05$) entre éstos tratamientos, con calibres en torno a 89-91 mm para el tratamiento T2 con aclareo y T3 sin aclareo. Esta respuesta es lógicamente la que se esperaba ya que ambos tratamientos fueron regados deficitariamente

Respecto al número de semillas por fruto, el análisis de la varianza muestra que no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,05$) entre los tratamientos. El tratamiento T3 fue el que tuvo mayor número de semillas con 50.8 por fruto y el tratamiento T2 con menor número de semillas por fruto con 49.2 (Tabla 11). Al no haber efecto sobre el número de semillas, se puede afirmar que el mayor tamaño de los frutos no es debido al número de semillas. De hecho el tratamiento T3 fue el que tuvo mayor número semillas por fruto y el que proporcionó los frutos de menor tamaño.

Tabla 11. Parámetros morfológicos de los diferentes tratamientos (T2 y T3) con diferentes técnicas de culturales (Aclareo/No aclareo) y el mismo riego (60 % ETc). D: Diámetro ecuatorial; L1: Longitud desde la base de la granada a la base de cáliz; L2: Longitud del cáliz; PC+MC: peso de la corteza y las membranas carpelares; EC: grosor de la corteza. NS= estadísticamente no existen diferencias ($p < 0.05$).

	Parámetros morfológicos							
	Peso (g)	D (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	NP Carpelos	PC+MC (g)	Ec (mm)	Rto Semillas
Test ANOVA†	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Tratamientos								
T2	348.25	90.1	90.3	18	6	170.69	4.9	49.2
T3	308.94	89.7	79.7	18.9	6	171.42	4.1	50.8

4.4.2 PARAMETROS DE COLOR DEL FRUTO

El parámetro a^* expresa el color en una escala que va desde el verde al rojo, de manera que cuanto mayor es su valor más se acerca al rojo. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para el parámetro a^* ($p=0,05$). Así tanto el tratamiento T2 como el tratamiento T3 presentaron un valor de a^* de 35.1 y 40.4 respectivamente (Tabla 12).

Los tratamientos aplicados tampoco mostraron diferencias significativas para los parámetros L^* y b^* . El color del fruto de granado cambia de amarillo a rojo amarillento y posteriormente se torna rojo intenso durante la maduración. Según Amorós et al. (2003), estos cambios son debidos, primero a la degradación de la clorofila, que conduce a un incremento de la luminosidad, parámetro L^* de color. Los datos de los parámetros L^* y b^* para el tratamiento T2 son 57 y 30.9 respectivamente y, para el tratamiento T3 52.7 y 29.9.

Tabla 12. Parámetros de color del fruto de los diferentes tratamientos (T2 y T3) con diferentes técnicas de culturales (Aclareo/No aclareo) y el mismo riego (60 % ETc). NS= estadísticamente no existen diferencias ($p < 0.05$).

	Parámetros de color del fruto				
	L^*	a^*	b^*	C	H
Test ANOVA [†]	NS	NS	NS	NS	NS
<u>Tratamientos</u>					
T2	57.0	35.1	30.9	47.6	42.8
T3	52.7	40.4	29.9	50.9	37.6

4.4.3 PARAMETROS FISICO-QUÍMICOS

En general, en el análisis del contenido en sólidos solubles totales (SST) de los frutos se obtuvieron valores lógicos en todos los tratamientos con déficit hídrico (Tabla 13). El tratamiento T2 con aclareo comercial alcanzó un contenido en SST de 16.9° Brix y el tratamiento T3 sin aclareo obtuvo un contenido de SST de 17.1° Brix. El test ANOVA indica que no existen diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p=0,05$), lo que nos indica que el tipo de riego con respecto al aclareo de ambos tratamientos no influye en el contenido de SST.

El tamaño, el color y la concentración SST de los frutos son los factores que determinan el momento de recolección del fruto del granado. En este ensayo los SST de los diferentes tratamientos de aclareo mostraron poca variación entre los frutos cosechados en distintas pasadas.

En la comparación efectuada mediante análisis de la varianza tampoco se observó la existencia de diferencias significativas en cuanto a la acidez titulable de los frutos procedentes de la recolección de cada uno de ellos ($p=0,05$). Los frutos obtuvieron una acidez titulable de $15,9 \text{ g L}^{-1}$ para el tratamiento T2 con aclareo comercial y $16,6 \text{ g L}^{-1}$ para el tratamiento T3 sin aclareo (Tabla 13).

Tabla 13. Parámetros químicos de los diferentes tratamientos (T2 y T3) con diferentes técnicas de culturales (Aclareo/No aclareo) y el mismo riego (60 % ETc). NS= estadísticamente no existen diferencias ($p < 0.05$). SST: Contenido en sólidos solubles; IM: índice de madurez.

	Parámetros químicos				
	pH	SST	Acidez (g/L)	IM	% Humedad
Test ANOVA [†]	NS	NS	NS	NS	NS
Tratamientos					
T2	3.5	16.9	15.9	10.7	76.0
T3	3.5	17.1	16.6	10.4	75.4

El contenido de humedad en el tratamiento T2 con aclareo comercial y T3 sin aclareo, ambos con riego deficitario, no tuvo diferencias estadísticas significativas, lo que indica que el tipo de aclareo realizado a ambos tratamientos no influye en el contenido de humedad del fruto. El contenido de humedad en el tratamiento T2 es del 76% y el del tratamiento T3 es del 75.4% (Tabla 13).

El pH es uno de los parámetros químicos que permite expresar la acidez de la granada. Se considera un indicador de madurez, ya que su valor tiende a aumentar a medida que el estado fisiológico del fruto pasa de verde a maduro. No hay mucha información relacionada con el pH y el índice de madurez (IM) de la granada. Nuestro ensayo presentó un pH ácido para ambos tratamientos de 3.5, lo que consideramos como un rango adecuado para nuestra cosecha.

La madurez se define comúnmente en termino de la madurez comercial o madurez de consumo. El índice de madurez (IM) de la granada en estudio, calculado como la relación de sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable, fue de 10.7 para el tratamiento T2 y 10.4 para el tratamiento T3. Este valor se encuentra en el rango de índice de madurez de 9.7 a 17.7, establecido por las normas de calidad internacionales de comercialización de este fruto (Buslig, 1991), y cumple con el índice de madurez mínimo de 7 para la comercialización.



5. CONCLUSIONES

1. En las condiciones climáticas en las que se encuentra la Región de Murcia, con escasa pluviometría y altas tasas de evapotranspiración, el riego se hace indispensable a pesar del alto precio del metro cúbico en cultivos como el granado. Es destacable entonces los esfuerzos por la conservación y aprovechamiento del agua sin que ello reste calidad y cantidad a la producción de las cosechas.

2. Hay que destacar que el tratamiento T0, que se ha realizado un tratamiento control, los datos determinados de potencial hídrico (Ψ_{tallo}) y conductancia estomática (g_i) siguen una línea casi constante durante todo el proceso experimental, lo que indica que se ha regado por encima de las necesidades hídricas del cultivo (120 % ETc), mientras que los tratamientos T1, T2 y T3, con una línea descendente, determinan que han sido regados a partir de un cierto periodo (DOY 182-280) con un riego deficitario a sus necesidades hídricas (60%ETc).

3. La diferencia significativa de Ψ_{tallo} entre los tratamientos T1 (sin frutos), T2 (con aclareo comercial) y T3 (sin aclareo) con mismo riego deficitario, 60%ETc, se debe a la absorción del agua por los frutos. Por lo que podemos destacar que la influencia del aclareo repercute en el descenso de Ψ_{tallo} .

4. Se demuestra que las determinaciones del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) y de la conductancia estomática (g_i) son buenas para indicar el estado hídrico del granado, siendo el Ψ_{tallo} el más adecuado para la programación de riego, ya que presentó una precocidad en respuesta al déficit hídrico.

5. Los resultados obtenidos de la producción de la cosecha confirman que no queda influida por el riego deficitario pero si por el tipo de aclareo realizado. Se determina que los árboles a los que se le había realizado un tratamiento de aclareo comercial (T2) han dado frutos de mayor calibre que los que no se les realizó ningún tratamiento de aclareo (T3), aunque no influye en el peso de la producción final.

6. Las granadas en las que se había aplicado un tratamiento de riego deficitario, T2 y T3, tienen similares parámetros morfológicos, físico-químicos y de color, por lo que podemos afirmar que la influencia del tipo de aclareo no influye en la calidad organoléptica del fruto.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy: FAO.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105–121. Haston E, Richardson JE, Stevens PF, Chase MW, Harris DJ. 2007. A linear sequence of Angiosperm Phylogeny Group II families. *Taxon* 56: 7–12.
- Ashraf, M., Majeed, A. 2006. Water requirements of major crops for different agro-climatic zones of Balochistan. IUCN, Water Programme, Balochistan Programme Office. vii+139 pp.
- Assaf, R., I. Bar-Ya'akov, M. Dagan, M. Fahima, and K. Hatib. 1991. Pomegranate floral biology and trials to increase productivity. *Alon Hanotea* 45:461-471.
- Bhantana, P., Lazarovitch, N. 2010. Evapotranspiration crop coefficient and growth of two young pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties under salt stress. *Agric. Water Manage.* 97: 715–722.
- Bevington K.B., Castle W.S., 1985. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110, 840-854.

- Bielorai H., 1982. The effect of partial wetting of the root zone on yield and water use efficiency in drip and sprinkler irrigated mature grapefruit grove. *Irrig. Sci.* 3, 89-100.

- Bielorai H., Dasberg S., Erner Y., Brum M., 1981. The effect of various soil moisture regimes and fertilizer levels on citrus yield under partial wetting of the root zone. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong (Tokyo)*, Vol. 1, pp. 585-589.

- Blumenfeld, A., Shaya, F., Hillel, R. 2000. *Cultivation of Pomegranate*.

CIHEAM: Options Méditerranées.

<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a42/00600264.pdf>

- Calín-Sánchez, A., Figiel, A., Hernández, F., Melgarejo, P., Lech, K., Carbonell Barrachina, A.A., 2013. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils and rind as affected by drying method. *Food Bioprocess. Technol.* 6, 1644–1654.

- Carbonell-Barrachina, A., Calín-Sánchez, A., Bagatar, B., Hernandez, F., Legua, P., Martínez-Font, R., Melgarejo, P. 2012. Potential of Spanish sour-sweet pomegranates (cultivar C25) for juice industry. *Food Sci. Technol. Int.* 18: 129-138.

- Chalmers, D.J. 1989. A physiological examination of regulated deficit irrigation. *New Zeland Journal of Agricultural Science.* 4:44-48.

- Chalmers, D.J., P.D. Mitchell and J. Van Heek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and

- summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 106:307-312.
- Chalmers, O. and B. van den Ende. 1974. Productivity of peach trees: factor affecting dry-weight distribution during tree growth. *Annals of Botany*. 41:707-714.
- Collins, R., Kristensen, P., Thyssen N. 2009. Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought. EEA Report No. 2/2009, European Environment Agency, Copenhagen.
- Cooley, N.M., Clingeleffer, P.R., Walker, R.R. y Glenn, D.M. 2008. The effects of water deficit and particle film technology interactions on Cabernet Sauvignon grape composition. *Acta Horticulturae*, 792: 193–200.
- Dahlgren R., RF. Thorne, 1984. The order Myrtales: circumscription, variation, and relationships. *Ann. Mo. Bot. Gard*. 71:633-699.
- Dichio, B., Xiloyannis, C., Sofo, A. y Montanaro, G. 2007. Effects of postharvest regulated deficit irrigation on carbohydrate and nitrogen partitioning, yield quality and vegetative growth of peach trees. *Plant and Soil*, 290 (1–2): 127– 137.
- Dragoni D, Lakso AN, Piccioni RM. 2004. Transpiration of an apple orchard in a cool humid climate: measurement and modeling. *Acta Horticulturae* 664, 175-180.
- Domingo, R., M. Ruiz-Sánchez, M. Sánchez-Blanco and A. Torrecillas. 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrigation Science* 16: 115-123.

- Dos Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Ricardo-da-Silva, J.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. y Chaves, M.M. 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, 112: 321–330.

- English, M. 1990. Deficit irrigation. I: Analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-asce*. 116: 399- 412.

- Ebel, R.C., E.L. Proebsting and R.G. Evans. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience*. 30:1229- 1232.

- Egea, G., Nortes, P.A., Domingo, R., Baille, A., Pérez-Pastor, A., González-Real, M.M. 2012. Almond agronomic response to long-term deficit irrigation applied since orchard establishment. *Irrigation science*, 1–10. In press.

- El-Ansary, D.O. y Okamoto, G. 2008. Improving table grape quality with less irrigation water in Japan: Partial root-zone drying versus regulated deficit irrigation. *Acta Horticulturae*, 792: 265–271.

- English, M., J. Musich and V. Murty. 1990. Deficit irrigation. In: *Management of Farm Irrigation Systems*. G. Hoffman, T. Howell and. K. Soloman (Eds.). ESAE, St. Joseph, Missouri, EEUU. pp 631-663

- Fahan, A. 1976. The leaf. pp. 171–212. The flower. pp. 321–394. The seed. pp. 419–430. In: *Plant anatomy*. Hakkibutz Hameuhad Publi., Jerusalem.

- Feng, Y.Z., D.J. Chen, M.T. Song, Y.L. Zhao, and Z.H. Li. 1998. Assessment and utilization of pomegranate varieties resources. *J. Fruit Sci.* 15:370-373.
- Fereres E, Goldhamer DA, Parsons LR. 2003. Irrigation water management of horticultural crops. Historical review compiled for the American Society of Horticultural Science's 100th Anniversary. *HortScience* 38, 1036-1042.
- Fereres E, Goldhamer DA. 1990. Deciduous fruit and nut trees. In: Stewart BA, Nielsen DR, eds. *Irrigation of agricultural crops*, Agronomy 30. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA, 987-1017.
- Fereres, E., Soriano, M. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany.* 58: 147- 159.
- Galindo, A., Calín-Sánchez, A., Collado-González, J., Ondoño, S., Hernández, F., Torrecillas, A., Carbonell-Barrachina, A. 2014a. Phytochemical and quality attributes of pomegranate fruits for juice consumption as affected by ripening stage and deficit irrigation. *J. Sci. Food Agr.* 94: 2259-2265.
- Galindo, A., Rodríguez, P., Collado-González, J., Cruz, Z.N., Torrecillas, E., Ondoño, S., Corell, M., Moriana, A., Torrecillas, A. 2014b. Rainfall intensifies fruit peel cracking in water stressed pomegranate trees. *Agr. Forest Meteorol.* 194: 29-35.
- Galindo, A., Rodríguez, P., Mellisho, C.D., Torrecillas, E., Moriana, A., Cruz, Z.N., Conejero, W., Moreno, F., Torrecillas, A. 2013. Assessment of discretely measured indicators and maximum daily trunk shrinkage for detecting water stress in pomegranate trees. *Agr. Forest Meteorol.* 180: 58-65.

- Geerts, S., Raes, D., (1999). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agric. Water Manage* 96, 1275-1284.
- Girona, J., Mata, M. y Marsal, J. 2005a. Regulated deficit irrigation during the kernelfilling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, 75: 152–167.
- Goldhamer, D.A. y Beede, R.H. 2004. Regulated deficit irrigation effects on yield, nut quality and water-use efficiency of mature pistachio trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 79 (4): 538–545.
- Goldhamer, D.A. y Salinas, M. 2000. Evaluation of regulated deficit irrigation on mature orange trees grown under high evaporative demand. En: *Proceedings of the International Society of Citriculture, IX Congress. ISC, Orlando, FL*, 227–231.
- Goldhamer, D. and K. Schackel. 1990. Irrigation cut off and drought irrigation strategy effects on almond: 2nd years results. P. 30-35. 18th Annual Almond Research Conference, Fresno, California.
- Goldhamer, D.A. y Viveros, M. 2000. Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science*, 19 (3): 125–131.
- Gómez-Rico, A., Salvador, M.D., Moriana, A., Pérez, D., Olmedilla, N., Ribas, F. y Fregapane, G. 2007. Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chemistry*, 100 (2): 568–578.

- González-Altozano P., Castel J.R., 1999. Regulated deficit irrigation in “Clementina de Nules” citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *J. Hort. Sci. Biothec.* 74 (6), 706- 713.
- Goor, A., and J. Liberman. 1956. The Pomegranate. pp. 5-57. J. Atsmon (ed.), State of Israel, Ministry of Agriculture, Agr. Publ. Section, Tel Aviv.
- Graham S.A., J.V. Crisci, P.C. Hoch, 1993. Cladistic analysis of the Lythraceae sensu lato based on morphological characters. *Bot. J. Linn. Soc.* 113:1-33.
- Graham, S.A., J. Hall, K. Sytsma, and S. Shi, 2005. Phylogenetic analysis of the Lythraceae based on four gene regions and morphology. *Int. J. Plant Sci.* 166:995- 1017.
- Guarino, L., Miller, T., Baazara, M. and Obadi, N. (1990). Socotra: The island of Bliss revisited. 6(3-4): 28-31.
- Guerrero, J., Moriana, A., Pérez-López, D., Couceiro, J.F., Olmedilla, N. y Gijón, M.C. 2006. Regulated deficit irrigation and the recovery of water relations in pistachio trees. *Tree Physiology*, 26 (1): 87–92.
- Guía de consultas diversidad vegetal. FACENA (UNNE). Eudicotiledóneas esenciales-Clado Rosides-Posición incierta-Myrtales: Lythraceae (inc. Punicaceae). Familia Lythraceae (incluyendo Punicaceae). Disponible en: <http://cmapserver.unavarra.es/rid=1JHKZSZHP-CL4TP8-200>.
Accedido a esta página el 28-07-15.
- Hancock (2004) *Plant Evolution and the Origin of Crop Species* (2 nd Edn), CABI Publishing, Cambridge, MA, pp 1-336

- Hawthorne WD, Hughes CE. 2008. Optimising linear taxon sequences derived from phylogenetic trees – a reply to Haston et al. *Taxon* 57: 1–7. Jansen RK, Cai Z, Raubeson LA, Daniell H, dePamphilis CW, Leebens-Mack J, Muller KF, Guisinger-Bellian M, Haberle RC, Hansen AK, Chumley TW, Lee SB, Peery.
- Hilgeman R.H., 1977. Response of citrus trees to water stress in Arizona. *Proc Int Soc Citriculture* (Orlando), Vol. 1, pp. 70-74.
- Holland, D and I. Bar-Ya'akov. 2008. The pomegranate: new interest in an ancient fruit. *Chronica Hort.* 48(3):12-15.
- Holland, D., K. Hatib, and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews*. 35:127-191.
- Hsiao, T. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular*. 24: 519- 570.
- Hsiao, T. y E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*. 14: 59- 84.
- Hsiao T.C., Acevedo E., Fereres E., Henderson D.W., 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Series. B-Biological Sciences* 273, 471-500.
- Iniesta F., Testi L., Orgaz F. y Villalobos F.J. 2009. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy*, 30: 258–265.
- Intrigliolo D.S, L. Bonet, 2012. Riego deficitario en cultivos emergentes. *Kaki y Granada*.

- Intrigliolo D.S., L. Bonet, P.A. Nortes, H. Puerto, E. Nicolas and J. Bartual. 2012. Pomegranate trees performance under sustained and regulated deficit irrigation. *Irrigation Science*.
- Intrigliolo, D.S. y Castel, J.R. 2005. Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 80: 177–182
- Iskenderova Z.D., 1980. Double forms of pomegranate and their uses in ornamental horticulture. *Byulleten Glavnogo Botanicheskogo Sada* 115:58-62.
- Iskenderova Z.D., 1988. Floral organogenesis in double-flowered pomegranate. *Subtropicheskie Kultury* 2:140-145.
- Johnson L.A.S., B.G. Briggs 1984 *Myrtales and Myrtaceae: a phylogenetic analysis*. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 71:700-756.
- Josan, J.S., J.S. Jawanda, and D.K. Uppal. 1979. Studies on the floral biology of pomegranate. I. Sprouting of vegetative buds, flower bud development, flowering habit, time and duration of flowering & floral morphology. *Punjab Hort. J.* 19:59-65.
- Koehne E., 1881. *Lythraceae monographice describuntur*. *Bot. Jahrb. Syst.* 1:142-157.
- LaRue, J.H. 1980. Growing pomegranates in California. DANR publication leaflet 2459. 28.Septiembre.2015.
<http://fruitandnuteducation.ucdavis.edu/education/fruitnutproduction/Pomegranate> .

- Legua, P.; Melgarejo, P.; Martínez, M. and Hernández, F. 2000. Evolution of anthocyanins content of four pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.) during fruit development. *Série A. Séminaires Méditerranéens*. 42:93-97.
- Levin, G.M. 1985. Dwarf fruiting forms of pomegranate. *Trudy Nauchno Issledovatel'skogo Instituta Sadovodstva, Vinogradarstva i Vinodeliya Imeni R R Shredera* 47: 23-25.
- Levin, G.M. 2006. Pomegranate roads: a Soviet botanist's exile from Eden. pp. 15-183. B.L. Baer (ed.), Floreat Press, Forestville, CA.
- Levy Y., Bielorai H., Shalhevet J., 1978. Long-term effects of different irrigation regimes on grapefruit tree development and yield. *J. Amer Soc Hort Sci* 103, 680-683.
- Li, S.H., Huguet, J.G., Schoch, P.G. y Orlando, P. 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. *Journal of Horticultural Science*, 64: 541–552.
- Liu, J.Y. 2003. Duanzhihong, a spur type pomegranate variety. *China Fruits* 6:3–4.
- MAGRAMA. 2012. Anuario de estadística. 29 sept. 2015.
<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2013/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=9&seccion=14>

- Mars, M., Melgarejo, P., Amoros, A. and Martínez, R. (1997). CIHEAM Collaborative Working Group on Underutilized Fruit Crops in the Mediterranean Region, April 1997.
- Marsh A.W., 1973. Irrigation. I: The citrus industry (W. Reuther, ed.). Univ. California, Div. Agric. Sci., Berkeley. Vol. 3, pp. 230-279.
- McCutchan, H., K.A. Shackel. 1992. Stem-water Potential as a Sensitive Indicator of Water Stress in Prune Trees (*Prunus domestica* L. cv. French). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117(4):607-611.
- Melgarejo, P., Salazar, D.M., Artés, F. 2000. Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. Eur. Food Res. Technol. 211: 185–190.
- Mellisho, C.D., Egea, I., Galindo, A., Conejero, W., Rodríguez, P., Rodríguez, J., Romojaro, F., Torrecillas, A. 2012. Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. Agric. Water Manage. 114: 30-36.
- Mena, P., Galindo, A., Collado-González, J., Ondoño, S., García-Viguera, C., Ferreres, F., Torrecillas, A., Gil-Izquierdo, A. 2013. Sustained deficit irrigation affects the colour and phytochemical characteristics of pomegranate juice. J. Sci. Food Agr. 93: 1922-1927.
- Mitchell, D. and D.J. Chalmers. 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. Journal of the American Society for Horticultural Science. 107:853-856.

- Monteith J.L., Unsworth M.H. 1990. Principles of environmental physics, 2nd edn. London: Edward Arnold.

- Moreno, P.M. 2014. Pomegranate tree: Description and use. <http://www.ueresgen29.unifi.it/ds2.htm>.

- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M. y Fereres, E. 2003. Yield responses of mature olive orchard to water deficits. Journal of the American Society for Horticultural Science, 123 (3): 425–431.

- Morton, J. 1987. Pomegranate. p. 352-355. In: Fruits of warm climates. Julia F. Morton, Miami, FL.

- Nalawadi, U.G., A.A. Farooqi, Dasappa, M.A.N. Reddy, Gubbaiah, G.S. Sulikeri, and A.S. Nalini. 1973. Studies on the floral biology of pomegranate (*Punica granatum* L.). Mysore J. Agr. Sci. 7:213-225.

- Naor, A. 2006. Irrigation scheduling of peach. Deficit irrigation at different phenological stages and water stress assessment. Acta Horticulturae, 713: 339–349.

- Oweis T, Pala M, Ryan J. 1998. Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean-type climate. Agronomy Journal 90, 672- 681.

- Peña, M.E., Artés-Hernández, F., Aguayo, ME., Martínez-Hernández, G.B., Galindo, A., Artés, F., Gómez, P.A. 2013. Effect of sustained deficit irrigation on physicochemical properties, bioactive compounds and postharvest life of pomegranate fruit (cv. 'Mollar de Elche'). Postharvest Biol. Technol. 86: 171-180.

- Peretz, J., R.G. Evans, E.L. Proebsting. 1984. Leaf water potentials formangement of high frequency irrigation on apples. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. p. 437-442.
- Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A., Ruiz-Sánchez, M.C. 2009a. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. Irrigation Science, 27: 231–242.
- Pérez-Pérez, J.G., Romero, P. y Navarro, J.M. 2008a. Response of sweet orange cv Lane late to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. Irrigation Science, 26: 415–425.
- Pérez-Pérez, J.G., Romero, P., Navarro, J.M. y Botía, P. 2008b. Response of sweet orange cv Lane late to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. Irrigation Science, 26: 519– 529.
- Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., García-Viguera, C., 2004. Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage. J. Sci. Food Agric. 84,639–644.
- Poyrazoğlu, E., Gökmen, V., Artik, N.,2002. Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum* L.) grown in Turkey. J. Food Compo. Anal. 15, 567-575.
- Rodríguez, P., Mellisho, C.D., Conejero, W., Ortuño, M.F., Cruz, Z.N., Galindo, A., Torrecillas, A. 2012. Plant water relations of leaves of pomegranate trees under different irrigation conditions. Environ. Exp. Bot. 77: 19–24.

- Romero, P., Botía, P. y García, F. 2004b. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant and Soil*, 260: 169–181.
- Ruiz-Sanchez MC, Domingo R., Castel JR. 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Span J Agric Res*8(S2): S5-S20.
- Seelig, R.A. 1970. *Fruit & vegetable facts & pointers: Pomegranates*. United Fresh Fruit Association, Washington, DC.
- Seeram, N. P., Adams, L. S., Henning, S. M., Niu, Y., Zhang, Y., Nair, M. G., Heber, D. 2005. *In vitro* antiproliferative, a poptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *J. Nutr. Biochem.* 16, 360–367.
- Schoups G., Hopmans J.W., Young C.A., Vrugt J.A., Wallender W.W., Tanji K.K., Panday S. 2005. Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 102, 15352- 15356.
- Still (2006) *Pomegranates: a botanical prospective*. In: Seeram NP, Schullman RN, Heber D (Eds). *Pomegranates: Ancient Roots to Modern Medicine*, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, pp 199-209
- Syvertsen J.P., 1985. Integration of water stress in fruit trees. *HortScience* 20, 1039-1043.
- Syvertsen J.P., Lloyd J.J., 1994. Citrus. En: *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. (B. Schaffer, P. C. Andersen, eds). CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. Vol 2, pp. 65-99.

- Taiz L., Zeiger E., 2010. Plant Physiology. Fifth Edition. 16 Octubre. 2015.
<http://5e.plantphys.net/article.php?id=29>.
- Testi L, Villalobos FJ, Orgaz F, Fereres E. 2006. Water requirements of olive orchards. I. Simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. Irrigation Science 24, 69-76.
- Thorne, RF. 1992. Classification and geography of the flowering plants. Bot. Rev. 58:225-348.
- Wang, H.X. 2003. The characteristics of Mudanhua pomegranate variety and its cultural techniques. South China Fruits 32:49-50.
- Watson, L., Dallwitz, M.J. (1992) The families of flowering plants: Descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. 87 pp.
- Westwood, NH. 1982. Fruticultura de Zonas Templadas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp.
- Zhang H. & T. Oweis. 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agr. Water Manage. 38: 195- 211.
- Zukovskij, P.M. (1950). Punica. In: State Publishing House Soviet Science, Moscow, pp. 60-61.