

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

**GRADO EN BIOTECNOLOGÍA**



**“TRATAMIENTOS PRE-COSECHA CON SALICILATOS  
PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD DE  
LAS GRANADAS (*Punica granatum* L.) EN LA  
RECOLECCIÓN”**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Marzo 2018

Autor: Sergio Serna Ferrández

Tutor: Daniel Valero Garrido

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer la oportunidad que me ha brindado mi tutor, Daniel Valero, para poder realizar mi Trabajo de Fin de Grado en el laboratorio de Post-Recolección de Frutas y Hortalizas, donde he adquirido muchos conocimientos y he estado rodeado de gente excelente. Muchas gracias de todo corazón por haber estado ahí siempre cuando lo he necesitado. Quiero dar las gracias también al profesor Fabián Guillén porque, desde el primer día que nos cruzamos por el laboratorio, una amistad muy bonita comenzó a florecer y que espero conservar por el resto de los años.

Quisiera agradecer a todas las personas que directa o indirectamente dedican su vida al laboratorio (tutores, doctorandos, graduados, estudiantes), pues sois todos increíblemente buenos y sobre todo muy trabajadores. A Emma, que desde el primer día me explicó genial sobre qué trataba el tema y me ha ayudado siempre con las dudas que me han surgido. Nunca pierdas esa sonrisa tan bonita, cariño. A María José, Pedro, Domingo, María, Salva, Jorge, Vicente...sois un gran equipo y qué buenos ratos hemos pasado, no solo trabajando sino celebrando lo trabajado.

Gracias a las personas que me acompañan en mi día a día. Fran, te echaré de menos pero iré a visitarte a Noruega, no lo dudes. Mari eres super valiente y luchadora. Yaiza, no sé qué haría sin tus momentos de risas y cuando nos explicas algo 'a tu manera'. A Carlos, que poquito a poquito nos has ido enseñando nuestro 'país'. Elia, ahora te toca disfrutar y bien merecido que lo tienes, campeona. María, no sé qué haría sin tu amistad, aunque llueva, truene o granice...A Jenny que me río y lloro a la vez contigo, eres muy hippy. Anyelo, te admiro por lo trabajador que eres y buen amigo para mí. Vicente, ¿qué te voy a decir ya que tú no sepas? Lo eres todo. En general, va por todos mis amigos que me demuestran que están ahí cuando más os necesito.

Finalmente, este trabajo va dedicado a toda mi familia, a mi madre, a mi hermano y sobre todo va por ti, PAPÁ. Te has ido recientemente, tan joven y lleno de vida, dejándonos muy tristes a todos y con un vacío que no podemos llenar. Te admiro muchísimo, no hay persona más luchadora que tú, pero ¿sabes qué? Aunque la vida sea muy injusta a veces, desde donde estés, sé que nos mandas toda esa energía que tú tenías para seguir luchando y te prometo que así será, saldremos adelante porque aquí está tu 'chiguito' que jamás te va a fallar. Te quiero mucho, descansa en paz.

## Resumen

Los elicitores son aquellas sustancias que inducen un cambio fisiológico en la planta y a partir de la cual se activan una serie de mecanismos similares a las respuestas de defensa que, en condiciones naturales, se desencadenarían tras la infección de un patógeno o un estímulo del medio, afectando así al metabolismo de la planta y aumentando la síntesis de compuestos fitoquímicos. Elicidores, tales como el ácido salicílico y el salicilato de metilo, se aplicaron en pre-cosecha sobre granados para tratar de evaluar si se obtenían mejoras en los frutos durante la post-cosecha. Tras aplicar los tratamientos y una vez evaluados los frutos se observó que estos mostraron menores pérdidas de firmeza, y un mayor nivel en los parámetros de color, lo cual dio lugar a una mejor conservación ya que se incrementó la calidad general de estos frutos. Asimismo, también se obtuvo una mayor producción determinado por un mayor número de los frutos.

**Palabras clave:** Granada, Ácido Salicílico, Salicilato de Metilo, Pre-cosecha, Post-cosecha, Vida útil.

## Abstract

Elicitors are substances which induce physiological changes in plant. Plants respond to these stressors by activating an array of mechanisms, similar to the defense responses to pathogen infections or environmental stimuli, affecting the plant metabolism and enhancing the synthesis of phytochemicals. Elicitors as **salicylic acid and methyl salicylate** were applied at pre-harvest stage on pomegranate trees, to evaluate if these treatments were able to increase quality on post-harvest. After these treatments were applied and once fruits were harvested and evaluated, results showed that these fruits delayed fruit firmness losses, and induced and increased in colour parameters. On the other hand, its metabolism was affected which leads to a better preservation storage since general quality of the fruit was increased as well as yield, because an increase on the number of these fruits.

**Keywords:** Pomegranate, Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Pre-harvest, Post-harvest, Shelf life.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. LA GRANADA .....</b>	<b>5</b>
1.1.1. Características botánicas .....	5
1.1.2. Composición nutricional .....	7
1.1.3. Variedades de granada .....	9
<b>1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA .....</b>	<b>13</b>
1.2.1. Producción de granada .....	13
1.2.2. Exportación e importación.....	16
<b>1.3. EL DESARROLLO DE LA GRANADA EN EL ÁRBOL.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4. EXIGENCIAS RELATIVAS A LA CALIDAD .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5. PROBLEMÁTICA POST-COSECHA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6. LOS SALICILATOS COMO TECNOLOGÍAS PRE-COSECHA .....</b>	<b>22</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. MATERIAL VEGETAL.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS .....</b>	<b>28</b>
3.3.1. Producciones.....	28
3.3.2. Tasa de respiración .....	28
3.3.3. Color.....	29
3.3.4. Sólidos solubles totales (SST).....	30
3.3.5. Acidez titulable.....	31
3.3.6. Índice de madurez.....	31
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE LA PRECOSECHA.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2. CALIDAD DE LOS FRUTOS DE LA GRANADA.....</b>	<b>37</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>

# 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

## 1.1 LA GRANADA

### 1.1.1 Características botánicas

La granada (*Punica granatum* L.) es el fruto del árbol llamado granado, perteneciente a la familia Lythraceae (previamente en Punicaceae), que se desarrolla en zonas tropicales y subtropicales. El nombre de la 'granada' proviene del latín *malum granatum* (manzana con granos, por la abundancia de semillas de su fruto) o *malum punicum* (manzana de Cartago), de donde se ha tomado el apelativo *punicum* (*Punica*, vocablo que se refiere a los fenicios que se ubicaron en la zona costera de Siria y Líbano) para incorporarlo a su nombre botánico: *Punica granatum* Linnaneus.

Es un pequeño árbol caducifolio, cuya altura ronda los 4-6 m (algunas variedades alcanzan los 7-8 m), con una copa más o menos extendida y muy ramosa. Su tronco es corto, a veces múltiple, con la corteza delgada de color pardo grisáceo, que se muestra liso al principio, pero que se agrieta y escama con los años.

**Fotografía 1:** *Plantación de granados en Albaterra (Alicante).*



Fuente: *Philmarin.*

Las hojas son opuestas o subopuestas, o formando fascículos, de oblongo-lanceoladas a obovadas o elípticas. Son de textura algo gruesa, al principio de color cobrizo, pasando a verde brillante por el haz y más pálidas o amarillentas por el envés. Tienen una nerviación poco marcada, a excepción del nervio central, el cual resalta por el envés. Los árboles cuentan con flores masculinas y hermafroditas, que pueden crecer en solitario o formando pequeños grupos. Sus flores hermafroditas son anaranjadas, actinomorfas, muy grandes y vistosas. Cáliz acampanado, coriáceo, glabro, con 5-7 lóbulos triangulares. Corola con 5-7 pétalos alternando con los sépalos, obovados, con el ápice redondeado, caedizos, de color rojo-anaranjado, a veces rosados, y a menudo arrugados.

**Fotografías 2 y 3:** Flores hermafroditas sin pétalos (superior) y con pétalos (inferior).



**Fuente:** Foto de Isabel F. Bernaldo de Quirós.

Androceo con numerosos estambres epíginos, con los filamentos libres, rojizos y con anteras amarillas y elípticas. Gineceo con ovario ínfero, subgloboso, soldado al hipanto, con numerosos lóculos en varias capas; estilo filiforme, grueso, rojizo y sobrepasando a los estambres. El estigma es de color blanquecino o amarillo pálido.

El fruto es una baya coriácea, esférica, lisa, denominada balausta, de 5-12 cm de diámetro, cuyo color puede variar de amarillo-verdoso a un rojo intenso en la madurez, y que preserva el cáliz. Cuenta con un endocarpo membranoso y amarillento que separa a las abundantes semillas, que son exteriormente carnosas y jugosas (los arilos), translúcidas, angulosas, de 7 x 4 mm y de color granate. La pulpa es astringente, de sabor ácido, aunque las nuevas variedades introducidas para la comercialización poseen un sabor más dulce. El albedo es la sustancia blanca y carnosa que se halla directamente bajo la piel de una granada. La parte externa debe de estar bien lisa y brillante, exenta de marcas. El fruto se abre espontáneamente al llegar a la madurez.




### 1.1.2 Composición nutricional

La granada es una fruta rica en numerosas propiedades beneficiosas para el cuerpo humano. Por un lado, destaca su bajo aporte calórico, ya que es tan solo de 34 kcal por cada 100 g de porción comestible. Por otra parte, posee propiedades antioxidantes, astringentes y antiinflamatorias, que hacen de la granada un alimento fundamental para las dietas depurativas y adelgazantes. Entre los minerales presentes, es destacable el alto contenido en potasio (275 mg por cada 100 g). En cambio, la cantidad de sodio es muy baja, lo que permite que sea recomendable en personas con hipertensión arterial. Minerales también presentes son: el fósforo, el calcio, el magnesio, el hierro o el zinc, entre otros. Respecto a las vitaminas, hemos de decir que presenta pequeñas cantidades de vitamina C, y vitaminas del grupo B, A ó E. Además, el ácido cítrico, que confiere el sabor ácido característico de esta fruta, potencia la acción de la vitamina C y ayuda a eliminar toxinas. También contiene polifenoles (taninos), aunque éstos se encuentran fundamentalmente en la corteza, y en las láminas y tabiques membranosos. Una prueba de su alto contenido en taninos es la sensación áspera que deja la fruta en el paladar y en la lengua. Estos taninos ejercen una acción astringente y antiinflamatoria en la mucosa del tracto digestivo, por lo que son útiles en casos de diarrea. Además, la granada posee flavonoides del tipo de las antocianinas (delfinidina, cianidina y pelargonidina), con una importante acción antioxidante, inhibidora de la producción de radicales libres y de la peroxidación lipídica y preventiva frente al cáncer. Por otra parte, estudios en animales de experimentación han demostrado que el extracto de semilla de granada produce una disminución de los niveles de glucosa sanguínea, observándose una acción antidiabética; que la granada ejerce un efecto antibacteriano frente a *Bacillus antracis*, *Salmonella paratyphi* y *Vibrio cholerae*; y que la administración del extracto en polvo de la piel de la granada, en conejos, estimula el sistema inmunitario de estos animales de experimentación (MAPAMA).

La granada se puede dividir en cuatro partes: la cáscara, las membranas carpelares, las semillas y los arilos. En la cáscara, encontramos una fuente importante de compuestos bioactivos, como pueden ser: fenoles, flavonoides, elagitaninos (ETS) y compuestos de proantocianidina (Li et al., 2006), además de gran cantidad de minerales (Mirdehghan y Rahemi, 2007). Variaciones significativas de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, azúcares, vitaminas solubles en agua, y minerales de granadas han sido reportados por varios investigadores (Davidson et al., 2009; Tezcan et al., 2009).

**Tabla 1:** Composición nutricional de la granada.

	Por 100 g de porción comestible	Por unidad (275 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
<b>Energía (Kcal)</b>	34	33	3.000	2.300
<b>Proteínas (g)</b>	0,7	0,7	54	41
<b>Lípidos totales (g)</b>	0,1	0,1	100-117	77-89
AG saturados (g)	—	—	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	—	—	67	51
AG poliinsaturados (g)	—	—	17	13
ω-3 (g)*	—	—	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω-6) (g)	—	—	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
<b>Hidratos de carbono (g)</b>	7,5	7,2	375-413	288-316
<b>Fibra (g)</b>	0,2	0,2	>35	>25
<b>Agua (g)</b>	91,5	88,1	2.500	2.000
<b>Calcio (mg)</b>	8	7,7	1.000	1.000
<b>Hierro (mg)</b>	0,6	0,6	10	18
<b>Yodo (µg)</b>	—	—	140	110
<b>Magnesio (mg)</b>	3	2,9	350	330
<b>Zinc (mg)</b>	0,3	0,3	15	15
<b>Sodio (mg)</b>	5	4,8	<2.000	<2.000
<b>Potasio (mg)</b>	275	265	3.500	3.500
<b>Fósforo (mg)</b>	15	14,4	700	700
<b>Selenio (µg)</b>	0,6	0,6	70	55
<b>Tiamina (mg)</b>	0,02	0,02	1,2	0,9
<b>Riboflavina (mg)</b>	0,02	0,02	1,8	1,4
<b>Equivalentes niacina (mg)</b>	0,3	0,3	20	15
<b>Vitamina B<sub>6</sub> (mg)</b>	0,11	0,11	1,8	1,6
<b>Folatos (µg)</b>	0	0	400	400
<b>Vitamina B<sub>12</sub> (µg)</b>	0	0	2	2
<b>Vitamina C (mg)</b>	5,7	5,5	60	60
<b>Vitamina A: Eq. Retinol (µg)</b>	3,5	3,4	1.000	800
<b>Vitamina D (µg)</b>	0	0	15	15
<b>Vitamina E (mg)</b>	—	—	12	12

Tablas de Composición de Alimentos. Moreiras y col., 2013. (GRANADA). Recomendaciones:  Ingestas Recomendadas/día para hombres y mujeres de 20 a 39 años con una actividad física moderada. Recomendaciones:  Objetivos nutricionales/día. Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria, 2011. Recomendaciones:  Ingestas Dietéticas de Referencia (EFSA, 2010). 0: Virtualmente ausente en el alimento. —: Dato no disponible. \* Datos incompletos.

**Fuente:** MAPAMA

El porcentaje de arilos (parte comestible de la granada) varía entre 50-70 % del total de la fruta, y se compone en un 78% de zumo y en un 22% de semillas (Qu et al., 2009; Goula and Adamopoulos, 2012). Las semillas (parte leñosa de los arilos) normalmente son abundantes, aunque depende del cultivo, la localización geográfica, el estado de madurez o las condiciones de almacenamiento (Zarei et al., 2011; Alcaraz-Marmol et al., 2015). El jugo de los arilos contiene 85% de agua, 10% de azúcares (glucosa, sacarosa y fructosa) (Melgarejo y Artes, 2000), 1,5% de pectina, ácidos orgánicos: ácido cítrico, málico, tartárico, succínico, ácido fumárico o ascórbico (Tezcan et al., 2009). Es importante señalar su contenido en ácidos grasos saturados e insaturados, pero sin duda, son los poliinsaturados (PUFA) los que más destacan por sus beneficios para la salud, disminuyendo el riesgo de enfermedades coronarias (FAO, 2012). Los ácidos grasos predominantes son: el ácido punicico (C18:3, *cis*-9, *trans*-11, *cis*-13), que es el más



abundante en las semillas (alrededor de un 67% del total de ácidos grasos), el ácido linolénico conjugado (C18:3), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), araquidónico (C20:0) y esteárico (C18:0) (Fadavi et al., 2006; Alcaraz-Mármol et al., 2015). El ácido punícico es un PUFA, conjugado del ácido linolénico, el cual ha demostrado que es capaz de inhibir in vitro la invasión del tumor en cáncer de próstata (Mietkiewska et al., 2014). Otros compuestos presentes en los arilos son aminoácidos, como la prolina (Seppi y Franciosi, 1980), y los compuestos bioactivos, como los fenoles: ácido gálico, punicalagina, galotaninos y antocianinas (Noda et al., 2002; Cerdà et al., 2003), que son conocidos por su alta capacidad antioxidante.

### **1.1.3 Variedades de granada**

El género *Punica* consta solo de dos especies: la primera de ellas es la más conocida como la granada (*Punica granatum* L.), y la segunda es la granada de Socotra o Yemen (*Punica protopunica* Balf. F. 1882), nativa de la isla de Socotra, no comestible ni comercial, pero que se cultiva (Levin, 2006).

La diversidad en el cultivo de granadas es enorme, y se han descrito más de 3000 variedades con unos fenotipos muy diversos. Muchos nombres de las variedades son distintivos de la zona en la que se cultivan, y los orígenes genéticos de la mayoría de estas variedades están aún sin resolver. Las hay de diferentes tamaños y colores, tanto del externo (existen granadas de color negro), como del interno de sus arilos; las semillas pueden ser blandas o duras, siendo las de semilla blanda las de mayor calidad a la hora de comerlas; también las hay de alta productividad y que se adaptan al mercado creciente actual.

A grandes rasgos, podemos clasificar las granadas en tres variedades principales: las dulces, las agridulces y las agrias, dependiendo de su concentración de ácido cítrico. Por ejemplo, en el norte de África, la mayoría de los cultivos comercializados son variedades dulces, mientras que en muchos otros países, se han comercializado cultivos agrios (Al-Kahtani, 1992). También hay variedades que se cultivan por su floración y no por el fruto, éstas son ornamentales. Tienden a ser frutos pequeños de semilla dura y algo ácidas.

A continuación, se detallan las variedades más cultivadas por países y sus características más significativas:

**Tabla 2:** Principales variedades de granada en el mundo.

<b>Variedad</b>	<b>Características</b>	<b>Origen</b>	<b>Referencia</b>
<b>Alandi (o Vadki)</b>	Arilos de color rosado intenso y semillas muy duras, sabor dulce-agrio.	India	Morton, 1987.
<b>Asinar</b>	Fruto grande (505 g), arilos rojos, sabor dulce-agrio, semillas blandas.	Turquía	Gozlekci & Kaynak, 2000.
<b>Borde de Albatera</b>	Arilos de color rojo oscuro, sabor ácido-amargo. Peso medio por pieza: 370 g.	España	Amorós et al., 2000.
<b>Dholka</b>	Grande, la corteza es de color amarillo-rojo, arilos blancos y semillas duras. Dulce.	India	Morton, 1987.
<b>Early Foothill</b>	Arilos de color rojo oscuro, semillas de dureza media, sabor dulce-agrio.	USA, 2-4 semanas antes que 'Wonderful'	LaRue, 1980.
<b>Early Wonderful</b>	Arilos de color rojo oscuro. Semillas semiduras, sabor dulce-agrio.	USA, 2 semanas antes que 'Wonderful'	California Rare Fruit Growers, 1997.
<b>Eversweet</b>	Arilos de color rosa. Dulce, incluso cuando está inmaduro.	USA	Dave Wilson Nursery, 2005; Karp, 2006.
<b>Golden Globe</b>	Fruto alargado. Arilos de color rosa a rojo. Semillas pequeñas. Dulce.	USA	Karp, 2006.
<b>Granada</b>	Arilos de color rojo oscuro, semillas semiduras, sabor dulce-agrio.	USA, 1 mes anterior a 'Wonderful'	California Rare Fruit Growers, 1997.
<b>Hicaznar</b>	Piel rojo oscuro, arilos rojos, sabor dulce-agrio.	Turquía	Gozlekci and Kaynak, 1997.
<b>Katirbasi</b>	Fruto grande (517 g), arilos rojos y grandes, sabor dulce-agrio.	Turquía	Gozlekci and Kaynak, 1997.

<b>Mollar de Elche</b>	De color rojo oscuro con semillas suaves, sabor dulce, acidez baja. Peso medio por pieza: 272 g.	España	Amorós et al., 2000.
<b>Mollar de Orihuela</b>	Arilos de color rosa suave con semillas suaves, dulce, acidez baja. Peso medio por pieza: 414 g.	España	Amorós et al., 2000.
<b>Piñón Tierno de Ojós</b>	Arilos de color rosa suave con semillas suaves, dulce, acidez baja. Peso medio por pieza: 405 g.	España	Amorós et al., 2000.
<b>Valenciana</b>	Temprana, fruto pequeño, pero no supera en calidad a la 'Mollar de Elche'.	España	Costa and Melgarejo, 2000.
<b>Wonderful</b>	Arilos de color rojo oscuro, semillas de dureza media. Sabor dulce-agrio.	USA	Morton, 1987.

**Fuente:** USDA/ARS (2007).

La granada Mollar de Elche tiene unas características y cualidades que la diferencian del resto de granadas. Destaca por su dulzor particular, tiene un color que puede oscilar desde el crema al rojo intenso y su pepita es blanda. La calidad de esta variedad está garantizada desde el 2016 por la Denominación de Origen Protegida de la Granada Mollar de Elche que ampara a 40 municipios de las comarcas alicantinas del Baix Vinalopó, L' Alacantí y La Vega Baja. El producto amparado por la DOP "Granada Mollar de Elche"/"Granada de Elche" es el fruto de la especie *Punica granatum* L., que procede de la variedad Mollar, de las categorías Extra y I definidas en la Norma del Codex para la granada (MAPAMA).

Estas tierras son ideales para el cultivo de granada Mollar de Elche por el privilegiado clima y los suelos fértiles, a orillas del Mediterráneo, que dan como resultado una de las mejores y más valoradas granadas del mundo. A mediados del s. XIX, el olivar empezó a sustituirse en Elche por huertos de granados y las primeras referencias comerciales datan de 1864 (DOP, 2016).

**Fotografía 4:** *Granada Mollar de Elche.*



**Fuente:** *cultivodelgranado.es*

Por otra parte, la principal variedad empleada para la obtención de zumos de granada es la variedad “Wonderful”, la más cultivada en el mundo. Se empieza a recolectar a finales de septiembre hasta febrero. Es de fruto grande, de un color externo rojo profundo y brillante. Las semillas son pequeñas y medianamente duras, relativamente ácidas. Presenta un buen rendimiento de jugo, con un alto contenido en sólidos solubles y una elevada acidez. Muchos amantes de la granada la consideran como una de las que mejor sabor tiene (Karp, 2006).

**Fotografía 5:** *Granada Wonderful.*



**Fuente:** *Paloma. Grupo hortofrutícola.*

Es la variedad de granado más cultivada en California e Israel, aunque también se planta en Europa Occidental y Chile (Sepúlveda et al., 2000). Los agricultores españoles han incrementado el cultivo de la variedad “Wonderful”, resultando una producción baja comparado con las variedades españolas, aunque con un atractivo color rojo intenso y un sabor agrio que facilita su exportación a algunos países europeos, y Rusia.

## **1.2 PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA**

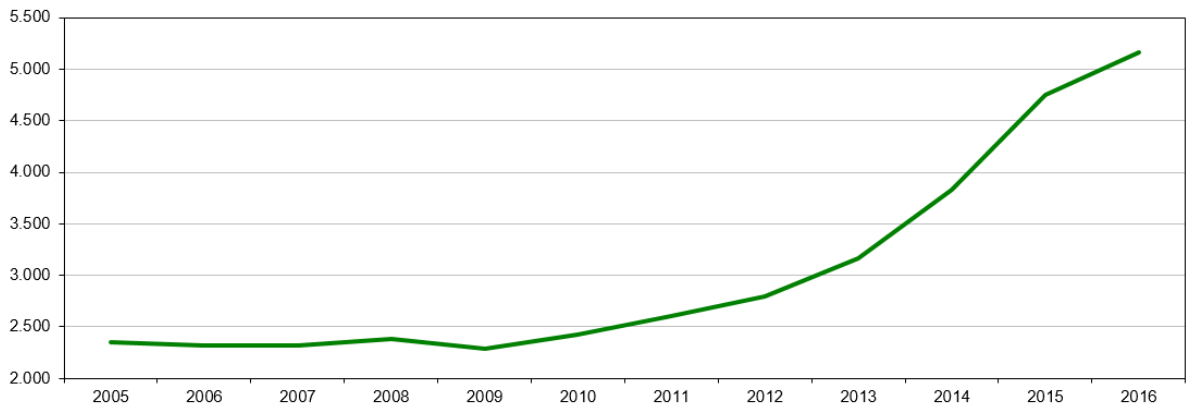
La granada es un cultivo que se ha extendido mundialmente a lo largo de los siglos. Se cultiva en todos los continentes, con la excepción de la Antártida. Sin embargo, la granada podemos encontrarla en los países de la cuenca Mediterránea (España, Italia, Turquía, Israel, Palestina, Grecia, Chipre, Francia, Norte de África, Egipto, Líbano, Siria, Portugal, etc.), en el continente asiático (Irán, Iraq, India, China, Afganistán, Bangladés, Vietnam, Tailandia, Malasia, Armenia, Georgia, etc.), en el norte y sur de América (Estados Unidos, Chile, Argentina y Brasil), en Sudáfrica y en Australia, ya que el clima templado de estos países permite un buen desarrollo del fruto (Holland et al., 2009). En concreto, su exitosa adaptación al clima Mediterráneo, ha permitido una gran difusión en varios países, originando distintos genotipos locales (Ferrara et al., 2014).

### **1.2.1 Producción de granada**

Las estadísticas acerca de la producción, área o ventas de la granada en el mundo son escasas o no están disponibles. No obstante, sabemos que el mayor país productor (mayor superficie cultivada) de granadas del mundo es India (más de 100.000 ha), seguido por Irán (81700 ha y 990000 t en 2015), Turquía (casi 10.000 ha), Túnez y España (5.000 ha).

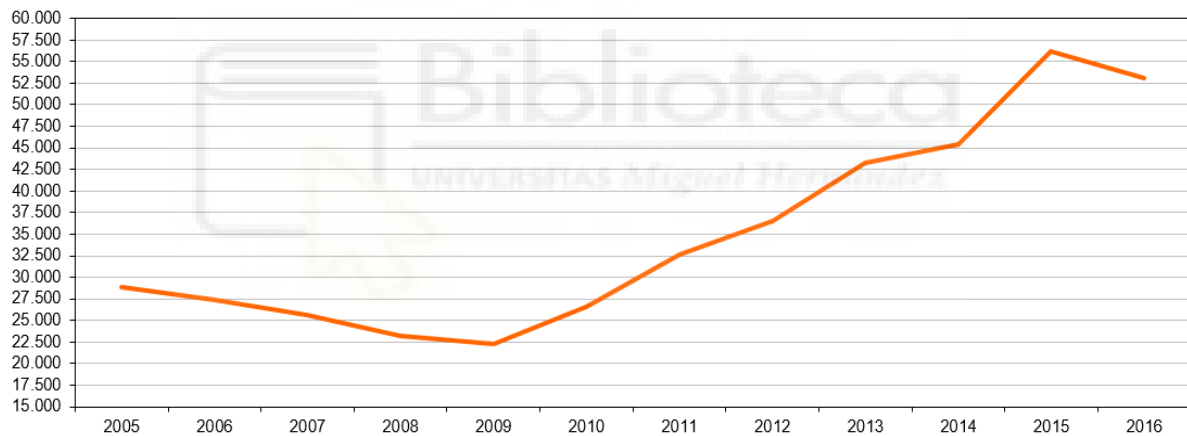
Según los datos de superficie y producción del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), en España se producen más de 55.000 toneladas de granadas y el cultivo supera las 5.000 hectáreas. Tanto la producción como la superficie de cultivo se ha mantenido uniforme desde los años 2005 a 2009, pero a partir de 2010 han seguido una tónica ascendente, como podemos observar en los siguientes gráficos:

**Gráfica 1:** Evolución de la superficie total de granado (miles de hectáreas).



Fuente: MAPAMA. Anuario de Estadística 2016.

**Gráfica 2:** Evolución de la producción de granado (toneladas).



Fuente: MAPAMA. Anuario de Estadística 2016.

El cultivo de la granada en España está muy localizado en el sur de Alicante (y, más en concreto, las comarcas del Bajo Segura y del Baix Vinalopó), donde se concentra más del 80% de la producción nacional (MARM, 2015). De esta forma, se convierten en los principales productores de Europa, sobre todo de la variedad Mollar de Elche. En las aproximadamente 3.000 hectáreas dedicadas a este cultivo en esta área, se alcanza un volumen de producción que gira alrededor de 45.000 toneladas (datos campaña 2015/2016). El resto de la producción de granadas se reparte principalmente entre Andalucía, Murcia, Cataluña, Extremadura y Canarias (FEPEX, 2017). En la siguiente tabla, observamos los datos de superficie y de producción por comunidades autónomas y por provincias en el año 2016.

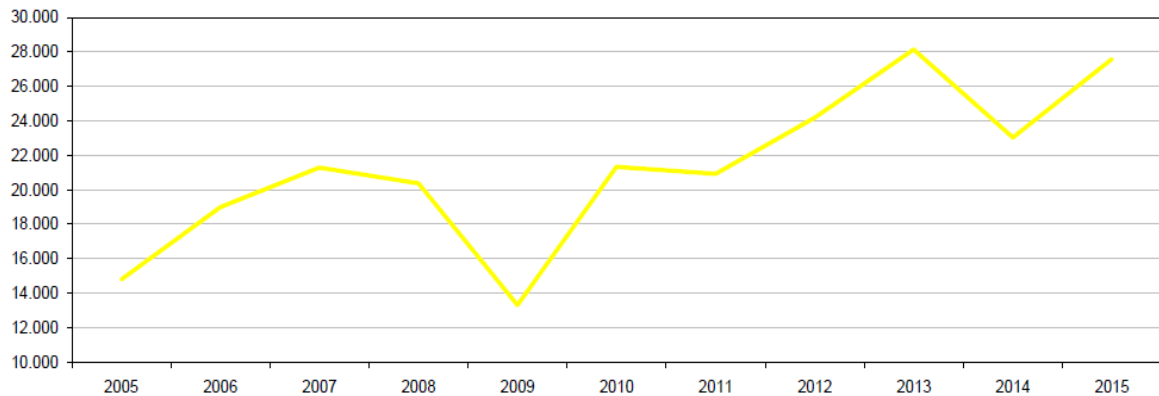
**Tabla 3: Análisis provincial de superficie, árboles diseminados, rendimiento y producción, 2016.**

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie en plantación regular (hectáreas)					Árboles diseminados (número)	Rendimiento		Producción (toneladas)			
	Total			En producción			Superficie en producción (kg/ha)		En plantación regular	Árboles diseminados	Producción Total	
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío		Secano	Regadío				
Huesca	-	23	23	-	11	-	-	7.856	-	86	-	86
Zaragoza	5	9	14	-	2	-	4.525	5.000	-	10	-	10
<b>ARAGÓN</b>	<b>5</b>	<b>32</b>	<b>37</b>	<b>-</b>	<b>13</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7.417</b>	<b>-</b>	<b>96</b>	<b>-</b>	<b>96</b>
Girona	-	1	1	-	1	-	-	12.000	-	12	-	12
Lleida	2	54	56	2	51	-	10.100	16.758	-	875	-	875
Tarragona	-	40	40	-	39	-	-	10.000	-	390	-	390
<b>CATALUÑA</b>	<b>2</b>	<b>95</b>	<b>97</b>	<b>2</b>	<b>91</b>	<b>-</b>	<b>10.100</b>	<b>13.809</b>	<b>-</b>	<b>1.277</b>	<b>-</b>	<b>1.277</b>
<b>BALEARES</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>9.167</b>	<b>-</b>	<b>58</b>	<b>-</b>	<b>58</b>
Ávila	-	-	-	-	-	48	-	-	20	-	1	1
Palencia	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
<b>CASTILLA Y LEÓN</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>53</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>MADRID</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>145</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>13</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Ciudad Real	-	-	-	-	-	161	-	-	16	-	3	3
Toledo	2	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CASTILLA-LA MANCHA</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>161</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Alicante	-	3.171	3.171	-	2.474	1.900	-	16.500	20	40.821	38	40.859
Castellón	-	35	35	-	20	-	-	4.000	-	80	-	80
Valencia	-	-	650	-	-	-	-	-	-	3.300	-	3.300
<b>C. VALENCIANA</b>	<b>-</b>	<b>3.206</b>	<b>3.856</b>	<b>-</b>	<b>2.494</b>	<b>1.900</b>	<b>-</b>	<b>16.400</b>	<b>20</b>	<b>44.201</b>	<b>38</b>	<b>44.239</b>
<b>R. DE MURCIA</b>	<b>-</b>	<b>282</b>	<b>282</b>	<b>-</b>	<b>221</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>19.500</b>	<b>-</b>	<b>4.310</b>	<b>-</b>	<b>4.310</b>
Badajoz	-	182	182	-	27	-	-	16.000	-	432	-	432
Cáceres	-	30	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EXTREMADURA</b>	<b>-</b>	<b>212</b>	<b>212</b>	<b>-</b>	<b>27</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16.000</b>	<b>-</b>	<b>432</b>	<b>-</b>	<b>432</b>
Almería	-	45	45	-	26	-	-	12.538	-	326	-	326
Cádiz	-	27	27	-	26	-	-	1.000	-	26	-	26
Córdoba	38	31	69	27	21	-	1.500	5.500	-	156	-	156
Granada	14	17	31	10	16	1.510	4.185	11.688	21	229	32	261
Huelva	4	248	252	4	25	-	2.000	16.500	-	421	-	421
Jaén	5	5	10	5	5	-	1.100	3.300	-	22	-	22
Málaga	38	62	100	18	58	-	1.900	6.800	-	429	-	429
Sevilla	6	34	100	6	42	-	2.050	3.935	-	430	-	430
<b>ANDALUCÍA</b>	<b>105</b>	<b>529</b>	<b>634</b>	<b>70</b>	<b>219</b>	<b>1.510</b>	<b>2.034</b>	<b>8.654</b>	<b>21</b>	<b>2.039</b>	<b>32</b>	<b>2.071</b>
Las Palmas	-	-	-	-	-	1.820	-	-	2	-	4	4
S.C. de Tenerife	1	34	35	1	34	745	-	20.675	2	693	1	694
<b>CANARIAS</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>2.565</b>	<b>-</b>	<b>20.675</b>	<b>2</b>	<b>693</b>	<b>5</b>	<b>698</b>
<b>ESPAÑA</b>	<b>115</b>	<b>4.398</b>	<b>5.163</b>	<b>73</b>	<b>3.105</b>	<b>6.334</b>	<b>2.227</b>	<b>15.990</b>	<b>13</b>	<b>53.106</b>	<b>81</b>	<b>53.187</b>

Fuente: MAPAMA. Anuario de Estadística 2016.

Es evidente el creciente interés por el consumo de esta fruta, tanto por sus atractivas características organolépticas (color granate intenso y dulzor), como por sus efectos beneficiosos para la salud (Vlachojannis et al., 2015). Este elevado interés ha hecho que incluso la demanda internacional supere a la oferta de producto, por lo que los precios de la granada han subido de modo constante en los últimos años. En la actualidad, en la Comunidad Valenciana hay una extensión dedicada al cultivo de la granada que está actualmente en producción de aproximadamente 2.500 ha, con una producción media de 17.000 kg/ha, y con un precio medio de la granada en campo de 0,50 euros/kg (Generalitat Valenciana, 2015). Con estas cifras, el volumen de negocio se cifra en unos 21 millones de euros anuales, suponiendo que toda la producción se comercializa para consumo en fresco (Carbonell-Barrachina, A.A. & Cano-Lamadrid, M., 2017). En el siguiente gráfico, se observa esta evolución al alza del valor del granado en los últimos años.

**Gráfica 3:** Evolución del valor de granado (miles de euros).



Fuente: MAPAMA. Anuario de Estadística 2016.

### 1.2.2 Exportación e importación

En torno al 70% de la producción de granada en el sureste español se exporta. Alrededor del 30/40% de la producción, unas 20.000 toneladas, se destinan al mercado nacional y, de ellas, el 10% son para la industria (zumo). El 60/70% restante de la producción de granada mollar de Elche es para exportación. Entre los principales mercados destacan Alemania, Francia, Reino Unido, y los Países Bajos. Rusia también era un mercado importante hasta el cierre de las exportaciones al país. Por otra parte, la granada mollar de Elche también se exporta a países del Golfo Pérsico y del Sudeste Asiático (DOP, 2016).

En lo que se refiere a las importaciones, la procedente de Turquía, Argel y Marruecos no suponen una competencia, pues sólo cubren la temporada en la que España no produce granadas.

### 1.3 EL DESARROLLO DE LA GRANADA EN EL ÁRBOL

En el clima tropical, la granada florece casi en todas las épocas del año, mientras que en zonas subtropicales florece una vez al año. En áreas con temperaturas bajas en invierno, el árbol es de hoja caduca, pero en condiciones tropicales, es imperecedero o parcialmente de hoja caduca. Bajo condiciones tropicales el brote de la flor ocurre en varios momentos. La duración entre el comienzo del alargamiento del brote de la flor (crecimiento) y la antesis varía entre 14 y 28 días dependiendo de la variedad y de las condiciones climáticas (Gur, 1986). Así en climas subtropicales del hemisferio norte, el florecimiento ocurre a partir de la última semana de marzo



hasta la segunda semana de mayo (Singh et al., 1978). Varios rubores distintos en el mismo árbol ocurren absolutamente con frecuencia.

Las flores son cortos pedúnculos sensibles. Las flores hermafroditas y masculinas, así como formas intermedias, ocurren en el mismo árbol de la granada. El cáliz de las hermafroditas tiene forma de jarra con un ovario amplio bien desarrollado. Las flores masculinas son más pequeñas, con un cáliz acampanado y un ovario rudimentario. Las formas intermedias exhiben varios grados de degeneración del ovario. La fruta que aparece de estas flores cae temprano, o si maduran y les falta formación (Ray, 2002). El porcentaje de hermafroditas fuera del número total de flores en un árbol de granada, depende del cultivo, de la estación de floración, y de otras condiciones ambientales desconocidas. En el comienzo de la estación de floración principal, este porcentaje es más alto que en el final de la estación (Gur, 1986).

La granada es un fruto no climatérico y, por tanto, no madura después de la cosecha, por lo que debe ser recolectado una vez que ha alcanzado su completa madurez en el árbol. El fruto alcanza esta madurez entre 4 a 6 meses después de florecer, dependiendo de las condiciones climáticas y de la variedad (Ben-Arie et al., 1984). Los índices de madurez dependen de los cultivos e incluyen: color externo del fruto, color de los arilos, acidez titulable y contenido en sólidos solubles (Lee et al., 1974; LaRue, 1980; Ben-Arie et al., 1984). La acidez máxima para los cultivos dulces no debe superar el 1% y para los agridulces debe estar entre 1.5-2%. El contenido en sólidos solubles no debería ser inferior al 15% (Kader, 2006).

La recolección de esta fruta comienza a mediados de septiembre (para las variedades más tempranas), y termina a mediados de noviembre (para las más tardías). Las variedades más producidas en España, sobre todo en Andalucía y la zona levantina (Alicante y Murcia) son: Grano Elche, que madura entre octubre y noviembre, y Mollar de Játiva o Mollar de Valencia, de recolección más temprana, con unos precios de venta generalmente más elevados, debido a la escasez de producto en la época de recolección.

#### **1.4 EXIGENCIAS RELATIVAS A LA CALIDAD**

La calidad de un fruto implica su grado de excelencia para el uso por parte del consumidor. Es un aspecto que se gesta en el campo y que dura hasta que ese producto llega a los usuarios. Se debe, por tanto, tener especial cuidado en la producción, cosecha, manipulación, distribución y, por supuesto, en su almacenaje. La calidad del producto abarca las características sensoriales (aspecto, textura, sabor y aroma), los valores nutritivos, los

componentes químicos, las propiedades mecánicas, las características funcionales y los defectos (Abbott, 1999). No solamente podemos basarnos en ellas y otras características de los alimentos, como la nutrición y la seguridad, son clave para determinar su calidad (Shewfelt, 2000).

Se entiende por calidad la ausencia de defectos o el grado de excelencia de un producto que, a su vez, se relaciona con la aceptabilidad que el consumidor tiene hacia él (Shewfelt, 2000). Sin embargo, este aspecto puede tener bastante grado de subjetividad, por lo que es necesario hacer algunas determinaciones paramétricas, que evalúen de manera objetiva la calidad de un fruto. Para ello, las propiedades sensoriales son las más utilizadas en este sentido para evaluar su calidad, como pueden ser: la apariencia, la textura, el sabor y el aroma.

La apariencia externa de un fruto nos dice mucho acerca de su calidad. Características visuales como el color están estrechamente relacionadas con su calidad, puesto que el consumidor elegirá aquellas piezas que tengan un color más semejante al de su madurez óptima. En el caso de la granada, las mejores serán las que presenten un color de rojo a rojo intenso y con ausencia de grietas o roturas. Además, el tamaño es importante a la hora de escoger granadas de calidad pues, las que son pequeñas, normalmente están secas, leñosas y acres.

La textura de un fruto es la sensación que se tiene en la boca al morder y masticar, y que comprende varios parámetros, como la firmeza, la cohesión, la adhesión y la elasticidad que tiene. La firmeza se define como la fuerza requerida para lograr una cierta deformación. En análisis sensoriales, la firmeza es la fuerza que debemos hacer para comprimir cierto alimento con los molares en el primer bocado (Garrido et al., 2015). Por lo general, los frutos más valorados por el consumidor son aquellos que presentan una textura firme.

Del mismo modo, el sabor y el aroma son aspectos a tener en cuenta a la hora de hablar de calidad de un fruto. Éstos vienen determinados por sus componentes químicos, como la concentración de azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos volátiles presentes en ellos. La acidez de un fruto es clave para la calidad, pues los que son muy ácidos, normalmente no son bien apreciados por el consumidor. Otros estudios (Crisosto et al. 1997) establecen una relación entre la aceptación del consumidor y la alta concentración de sólidos solubles (SSC), pero no es el único factor, hay otros que la afectan como la relación SSC/Acidez y el contenido en sustancias fenólicas.

## **1.5 PROBLEMÁTICA POST-COSECHA**

La calidad de una fruta fresca o de una verdura cambia desde la cosecha hasta que llega al consumidor. La susceptibilidad del producto cosechado fresco a desórdenes fisiológicos y al aumento de enfermedades post-recolección aumenta durante un almacenamiento prolongado, como resultado de los cambios fisiológicos que permiten al patógeno desarrollarse en el fruto (Eckert y Ogawa, 1988).

La respiración y producción de etileno, junto a los cambios de composición, la transpiración y la pérdida de agua son los principales factores biológicos responsables de la pérdida de calidad postcosecha de frutas y hortalizas.

Las consecuencias de la respiración postcosecha son pérdidas en reservas alimenticias almacenadas en el fruto y la consiguiente disminución del valor alimenticio, que afectan principalmente al dulzor, además de la pérdida de peso seco. La energía liberada durante la respiración afecta a las consideraciones tecnológicas postcosecha (requerimientos de ventilación y refrigeración). Además, asociados a la maduración, se producen cambios en la pigmentación y en los carbohidratos, degradación de pectina, incremento del contenido de lignina, cambios en los ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos y lípidos, que acaban influyendo en la calidad durante la postcosecha.

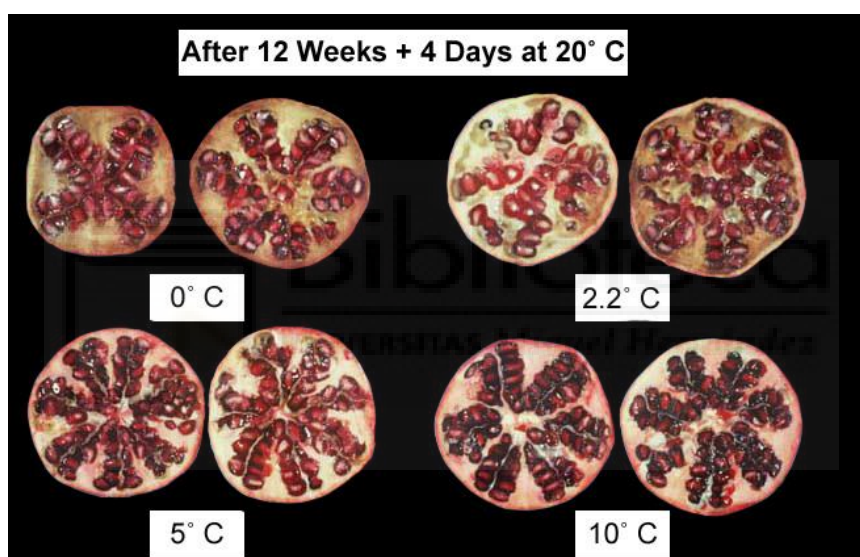
### **1.5.1 Almacenamiento en refrigeración y daños por frío**

La temperatura de refrigeración es el factor por sí solo más importante que gobierna en la calidad post-recolección de frutas y verduras almacenadas. Enlentece el crecimiento microbiano, facilita el control de insectos, parásitos o procesos de modificación relacionados con la maduración, pero puede también causar daños por frío.

Los estudios sobre la conservación en cámara frigorífica de la granada han recibido poca atención, aunque esta fruta tiene un período extendido de cosecha y la refrigeración es el único método para ampliar su vida útil de la fruta fresca hasta 3 meses. Las granadas son susceptibles a daños por frío y el almacenamiento de las mismas a temperaturas de 5° C (o por debajo) durante incluso un mes provoca daños por frío extremo, que en inglés se conoce como 'chilling injury'. El grado de los síntomas por 'chilling injury' aumenta con el tiempo de almacenamiento al cual estuvieron expuestas a esa temperatura y cuanto más por debajo de 5° C hayan estado (Elyatem and Kader, 1984). Los daños por frío acusado son fácilmente observables cuando se pasa la fruta a temperatura ambiente (20° C)

Los síntomas ocasionados por daños por frío son muy variados y varían entre cosechas. Algunos de ellos se pueden manifestar internamente, mientras que la mayoría de ellos son externamente visibles y presentan diferente sintomatología. Los síntomas de daños por frío en la fruta de la granada incluyen: el pardeamiento de la cáscara, picaduras, descascarillado, sensibilidad más alta para el ataque por microorganismos, aumento de la fuga de electrolitos y la decoloración y el pardeamiento interno de las semillas (Rahemi y Mirdehghan, 2003; Mirdehghan y Rahemi, 2004). El pardeamiento externo e interno se relaciona con la oxidación de fenoles por la enzima polifenol oxidasa (PPO). (Elyatem and Kader, 1984; Artés et al., 2000; Mirdehghan et al., 2007).

**Fotografía 6:** Granada con síntomas por 'chilling injury' tras almacenamiento a temperaturas bajas durante 12 semanas y después 4 días a 20° C.



**Fuente:** [http://www.poscosecha.com/es/noticias/la-granada-sufre-danos-por-frio/\\_id:79297/](http://www.poscosecha.com/es/noticias/la-granada-sufre-danos-por-frio/_id:79297/)

Para aliviar los síntomas del 'chilling injury', se han aplicado algunos tratamientos postcosecha que han resultado ser efectivos en cierta medida: almacenamiento en atmósfera controlada y modificada (Nerya et al., 2006), aplicación de calor por aire o baños en agua caliente (Artés et al., 1998, 2000; Mirdehghan et al., 2007), aplicación de poliaminas (putrescina y espermidina) antes del almacenamiento (Mirdehghan et al., 2007) y tratamiento con ácido salicílico (Sayyari et al., 2009).

### 1.5.2 Quemaduras solares

La exposición de la granada a la intensa luz solar puede provocarle quemaduras solares, que son visibles en la corteza, dándole un aspecto de reseca y produciéndole pequeñas grietas, resultando en un fruto que no se puede comercializar. El hecho de que la cosecha de las

granadas coincide con el fin del verano y el comienzo del otoño contribuye aún más a estas quemaduras por sol (Melgarejo et al., 2004). Melgarejo y Martínez (1992) evaluaron las pérdidas postcosecha debido a este daño y sugirieron que éstas pueden alcanzar hasta el 30% de las granadas cosechadas. Las zonas más expuestas al sol resultan ser las más dañadas, y éstas toman un color que van desde el marrón claro hasta el negro, como podemos observar en la siguiente imagen:

**Fotografía 7:** *Granada con quemadura solar.*



**Fuente:** <http://cultivodelgranado.es> *armández*

Para reducir los casos de quemaduras por sol, puede ayudar el hecho de usar cultivos con mayor superficie foliar o frutos más resistentes a este daño (Melgarejo et al., 2004). Las prácticas de cultivo, como la fertilización o regímenes de riego que aumenten el desarrollo vegetativo, también pueden ser útiles a la hora de proteger las granadas de la acción directa del sol (Melgarejo et al., 2004). El uso de caolín (mineral de arcilla empleado en la fabricación de porcelana), previene este problema. Melgarejo et al. (2004) observaron una disminución del 21.9% al 9.4% de daño por sol cuando aplicaron una concentración de 25-50 kg/1000 l por hectárea a una plantación de granadas de la variedad 'Mollar de Elche'.

### **1.5.3 Agrietamiento**

El agrietamiento es un desorden fisiológico serio en muchos cultivos frutales, incluyendo a la granada, manzana, cereza, uva, ciruela, caqui, plátano, entre otros, y que conducen a una disminución en rendimiento y calidad de la fruta (Blumenfeld et al., 2000; Khadivi-Khub, 2015). El problema de la rotura favorece que los microorganismos puedan penetrar dentro del fruto, ocasionando enfermedades patológicas. El agrietamiento de la granada puede ocurrir como resultado de la presión que ejercen los arilos al expandirse tan rápidamente dentro de la corteza

ya presionada (Yilmaz and Ozguven, 2006). Los principales factores que contribuyen a este desorden son: sensibilidad del cultivo, grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche, cambios en la humedad, riegos abundantes tras épocas de sequía, maleabilidad de la corteza, deficiencias en minerales como calcio y boro, y otras enfermedades o pesticidas.

El agrietamiento se puede reducir usando variedades de granada que sean resistentes a este daño, como son la 'Izmir-16' y la 'Beynar' de Turquía (Yilmaz, 2007; Holland et al., 2009). Recientes estudios llevados a cabo por Davarpanah, S. et al. (2018), demostraron que la fertilización foliar con nanopartículas de calcio reducía el agrietamiento de las granadas en un 50 % respecto a las no tratadas.

**Fotografía 8:** Agrietamiento de la granada y su reducción utilizando fertilizantes con nanopartículas de Calcio.



**Fuente:** Davarpanah, S. et al. (2018). Foliar calcium fertilization reduces fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani).

## 1.6 LOS SALICILATOS COMO TECNOLOGÍAS PRE-COSECHA

En los últimos años, los estudios de tecnologías pre-cosecha para mejorar las propiedades post-cosecha de varios cultivos hortofrutícolas antes de su recolección se están abordando cada vez más. Un ejemplo es el empleo de elicitores, moléculas que inducen cambios fisiológicos en las plantas y que activan una serie de mecanismos similares a las respuestas de defensa que, en condiciones naturales, se desencadenarían tras la infección de un patógeno o un estímulo del medio (estreses bióticos o abióticos), afectando así al metabolismo de la planta y aumentando la síntesis de compuestos fitoquímicos.

Existe una gran diversidad de sustancias elicitoras que intervienen en las respuestas de estrés en las plantas y que se podrían aplicar directamente en campo, antes de la cosecha, para

mejorar la calidad de frutas y hortalizas durante la recolección y su posterior almacenamiento. Son moléculas, tales como: el ácido salicílico (SA), el ácido acetil salicílico (ASA), el salicilato de metilo (MeSA), el ácido oxálico (OA), el metil jasmonato (MeJA), la melatonina y el ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA).

El ácido salicílico o ácido 2-hidroxibenzoico (AS) y otros compuestos relacionados, los salicilatos, han sido utilizados en medicina desde la antigüedad. En 1828 Johann Buchner aisló por primera vez una pequeña cantidad de salicina, y fue en 1838 cuando Raffaele Piria llamó a este compuesto ácido salicílico. En 1874 se inició la producción comercial de AS en Alemania (Raskin, 1992a; b), mientras que la Aspirina (ácido acetil salicílico), un análogo cercano al AS, fue introducida por “Bayer Company” en 1898, convirtiéndose en el primer medicamento anti-inflamatorio más extensamente usado durante años.

El AS es un regulador endógeno del crecimiento de las plantas de naturaleza fenólica que posee un anillo aromático con un grupo hidróxilo o un derivado funcional. A principios de 1960, se sugirió que el ácido salicílico en plantas se sintetizaba a partir del ácido cinámico por dos posibles rutas biosintéticas y fue al principio de los años 90, cuando un estudio exhaustivo en hojas y estructuras reproductivas de diferentes especies, confirmó la distribución ubicua del AS en el reino vegetal y fue cuantificado en 36 plantas pertenecientes a diversos grupos (Raskin et al., 1990). Otros estudios más recientes han propuesto otra ruta, la del ácido siquímico, basándose en estudios realizados en *Arabidopsis* (Wildermuth et al., 2001; Sharon-Asa, 2003).

El AS tiene la propiedad de formar conjugados con diversas moléculas por diferentes vías: glucosilación o esterificación (Popova et al., 1997), metilación, conjugación de aminoácidos, sulfonación, hidroxilación, etc., pero la mayoría de ellos no son compuestos activos. La mayoría del AS sintetizado se convierte y es almacenado como derivados biológicamente inactivos ya que la acumulación de AS tiene consecuencias fisiológicas adversas (Heidel et al., 2004). La mayoría del AS producido en las plantas es glucosilado (SAG) y se cree que es la principal forma de almacenamiento con el potencial de ser convertido de nuevo en AS mediante reacciones enzimáticas catalizadas por la enzima AS  $\beta$ -glucosidasa (Lee et al., 1998; 1999).

Las primeras evidencias del papel hormonal del AS como se deben a Cleland y Ajami (1974) quienes descubrieron su capacidad de inducir la floración en *Lemnagibba* G3 y *Xanthium strumarium* L. Posteriormente, se descubrió que el AAS en plantas de tabaco, aumentaba su resistencia contra el virus del mosaico del tabaco (White, 1979). Además, se observó un efecto inhibitorio en la biosíntesis de etileno en láminas del mesocarpo de manzana (Romani et al., 1989) y en cultivos celulares de peras, mediante el bloqueo de la conversión de ACC a etileno

(Leslie y Romani, 1986). El AS ha sido descrito como un compuesto efectivo, no tóxico e inhibidor reversible de la biosíntesis de etileno a concentraciones comparables con aquellas encontradas en algunos tejidos vegetales (Raskin 1992b).

Así pues, desde el año 1992, el ácido salicílico (AS) se considera una potente hormona vegetal (Raskin et al., 1992a), que juega un papel importante en la regulación de una gran variedad de procesos fisiológicos durante el crecimiento y desarrollo de la planta, en la interacción de la planta con otros microorganismos y en su respuesta a distintos tipos de estrés, tanto bióticos como abióticos (Raskin, 1992a, b; Yalpani et al., 1994; Popova et al., 1997; Senaratna et al., 2000). El efecto más característico del AS es la inducción de la resistencia sistémica adquirida (RSA), que participa en la resistencia a enfermedades locales y endémicas en las plantas, y el AS sintetizado como respuesta a la infección se transporta por el floema a otras partes sanas de la planta y en ellas también estimula los sistemas de defensa, protegiendo así a toda la planta de futuras infecciones después del ataque patógeno inicial (Enyedi et al., 1992; Alvarez, 2000; Beckers et al., 2006).

El ácido acetil salicílico (AAS), es un análogo al ácido salicílico, en el que se transforma espontáneamente al hidrolizarse. Por otro lado, el salicilato de metilo (SaMe) es un derivado metilado, que es también una forma inactiva, pero al ser volátil, puede fácilmente difundir a través de las membranas y actúa como una molécula señal volátil a larga distancia. Así, el salicilato de metilo (SaMe) se sintetiza como respuesta a una infección por patógenos y se transporta en estado gaseoso hacia tejidos sanos de esa misma planta o incluso de plantas vecinas, y en esos tejidos desarrolla el sistema de defensa RSA, de manera que esos tejidos sanos de la planta infectada o las plantas vecinas pueden resistir y combatir la futura infección. (Hayat et al., 2010).

#### **1.6.1. Efecto del tratamiento precosecha con salicilatos**

Por el contrario, existe poca información sobre el uso de salicilatos en precosecha. Los primeros trabajos existentes se enfocaron en analizar el efecto de estos tratamientos en la inducción de los sistemas de defensa frente al ataque fúngico. Así, tratamientos pre-cosecha con AS 2 mM redujeron significativamente el diámetro de lesión en cerezas causada por *Monilia fructicola* y aumentó la actividad de las enzimas  $\beta$ -1,3- glucanasa, PAL y POD durante los primeros días de almacenamiento, siendo mayor la eficacia de los tratamientos pre-cosecha que la de los tratamientos postcosecha (Yao et al., 2005). Tratamientos con AS también redujeron la podredumbre fúngica en fresa, con un efecto adicional manteniendo la calidad general durante la conservación, y se obtuvieron mejores resultados cuando se combinaron tratamientos pre-



con postcosecha (Babalar et al., 2007). Además, aplicaciones de AS en naranja, incrementaron el contenido de carotenoides, ácido ascórbico, glutatión, fenoles y flavonoides totales en la piel y la pulpa durante el almacenamiento (Huang et al., 2008).

Por otro lado, en mangos tratados con AS una semana antes de la recolección se retrasó el proceso de maduración y senescencia, suprimiendo la tasa de respiración, la producción de etileno y manteniendo la firmeza, color, AT y SST (Vijay Rakesh Reddy *et al.*, 2016). Además, el tratamiento precosecha con AS 0,5 mM de manzanas 1 día antes de la recolección fue efectiva a la hora de mejorar la cantidad de compuestos bioactivos (fenoles y flavonoides totales), aumentando la actividad antioxidante y la actividad de CAT, POD, SOD, manteniendo la calidad (Supapvanich et al., 2017).

Recientemente se ha estudiado el efecto del tratamiento precosecha de SaMe sobre la calidad y los sistemas antioxidantes de cerezas tanto en el momento de la recolección como durante el almacenamiento en frío, encontrándose un aumento de tamaño y calidad (mejoró el color, la firmeza y sólidos solubles totales) en los frutos tratados con SaMe (Giménez et al., 2015; 2016). Además, también se aumentó el contenido en compuestos bioactivos, la actividad antioxidante total (AAT) y la actividad de las enzimas antioxidantes tanto en la recolección como tras 28 días de almacenamiento (Valverde et al., 2015), encontrándose resultados similares tras el tratamiento en precosecha con AS y ASA en cerezas (Giménez et al., 2014;2017).

## 2. OBJETIVOS

La granada, y sus productos derivados, son cada vez más demandados por los consumidores debido a los beneficios que aporta para la salud. Nuestro país es líder de Europa en la exportación de esta preciada fruta, con una plantación de granado (*Punica granatum* L.) superior a las 5.000 ha y una producción de más de 50.000 t al año, por tanto, con un gran impacto económico. El sureste de España concentra esta producción, sobre todo de la variedad con Denominación de Origen 'Mollar de Elche', que destaca por sus excelentes cualidades nutritivas y organolépticas. Sin embargo, presenta ciertos problemas durante su almacenamiento derivados de su respiración y procesos de maduración normales, aunque también de daños producidos por frío y otras patologías.

De acuerdo con los antecedentes anteriormente expuestos, la investigación en la utilización de nuevas tecnologías pre-cosecha para mejorar la calidad de frutas y hortalizas en la cosecha y durante su almacenamiento post-cosecha está en pleno auge, como es la búsqueda de nuevos elicitores naturales. En el caso de la granada, es novedoso el estudio de elicitores tales como los salicilatos aplicados en pre-cosecha y analizar sus efectos, ya que no existe bibliografía disponible sobre el efecto de estos compuestos aplicados durante el desarrollo de las granadas en el árbol.

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado ha sido determinar si la aplicación de ácido salicílico (SA) y salicilato de metilo (MeSA), a la concentración de 10 mM, sobre granados de la variedad 'Mollar de Elche' mejora la producción y la calidad de la fruta en el momento de la recolección.

Para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados en pre-cosecha sobre la calidad general de la granada, se realizarán los diferentes estudios que se detallan a continuación.

- 1) Evaluación de la producción de granadas por árbol y la total, así como el número y el peso medio de los frutos (en cada una de las recolecciones y la total). Estudiaremos también la tasa de respiración para cada tratamiento.
- 2) Estudio de diferentes parámetros de calidad organoléptica (color) y de calidad nutritiva (sólidos solubles totales, acidez total e índice de madurez).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL VEGETAL

En la realización de este trabajo, se han empleado granadas de la variedad ‘Mollar de Elche’ que han sido cultivadas en una finca situada en el campo de Elche propiedad de la cooperativa ‘Cambayas’. Se seleccionaron en total 15 árboles completamente al azar repartidos en 3 filas: una fila de 5 árboles se eligieron como los controles (agua destilada), y dos filas de 5 árboles cada una para cada tratamiento con los elicitores aplicados (ácido salicílico y salicilato de metilo). Los dos últimos árboles de cada fila se consideraron árboles guardia y se dejaron sin tratar.

#### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Este trabajo comienza con la preparación de los distintos tratamientos que iban a ser aplicados mediante spray foliar a los árboles. Éstos fueron preparados en el laboratorio el mismo día que iban a aplicarse. Se determinó y se pesó la cantidad necesaria de ácido salicílico y salicilato de metilo a la concentración de 10 mM. Se puso en un vaso de precipitados bajo agitación y se fue añadiendo de 5 en 5 mL: 10 mL de etanol y 10 mL de mojante (Tween 20). Se añaden 400 mL de agua del grifo, se deja agitando para que se disuelva el ácido salicílico y el salicilato de metilo y una vez que está todo homogéneo, se guarda en garrafas de 15 L, que son las que se van a llevar a campo y aplicar a los árboles.

**Fotografía 9:** *Preparación de los tratamientos.*



**Fuente:** *Fotografía propia.*

El día 0 de nuestro experimento lo contamos como el 30 de abril de 2017, momento en el cual los granados se encontraban en la fase de floración plena ('full blooming') y en la que se aplican por primera vez los tratamientos (T1). En total se aplicaron seis veces los tratamientos, una vez al mes (30 de mayo (T2), 30 de junio (T3) ...). El último se aplicó el 1 de octubre (T6), tres días antes de la primera recolección, como mantenimiento, ya que las granadas estaban listas para ser cosechadas.

Las fechas de recolección tuvieron lugar los días 4 y 24 de octubre de 2017. Se recolectaron las granadas de cada árbol marcado con su correspondiente tratamiento (Control, SA 10 mM y MeSA 10 mM), se contaron y pesaron el número de frutos por árbol y tratamiento, y se transportaron en cajas hasta la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO-UMH) al laboratorio del grupo Post-recolección de Frutas y Hortalizas. Una vez allí, se cogieron 45 granadas de cada tratamiento al azar (descartando las que presentaban daños, picaduras o eran muy pequeñas), 15 para cada uno de los tres muestreos que vamos a realizar. El primero (M1) tendrá lugar 30 días después de la recolección, el segundo (M2) 60 días y el tercero (M3) y último, tras 90 días almacenadas a 10°C. Las 15 granadas se separaron en 3 lotes (tres réplicas; R1, R2 y R3) de 5 granadas cada una, las cuales se pesaron y guardaron en las cámaras de 10°C.

### **3.3 DETERMINACIONES ANALÍTICAS**

#### **3.3.1 Producciones**

La determinación del peso se realizó mediante una balanza, marca Mettler modelo PC-4400 con dos cifras decimales de precisión  $\pm 0.01$ . El peso fue expresado en gramos. Se pesaron los frutos en las fechas de recolección y cada lote de 5 granadas tras su recolección.

#### **3.3.2 Tasa de respiración**

Durante la respiración, todo tejido vegetal consume  $O_2$  y libera  $CO_2$ . El metabolismo del fruto está íntimamente ligado con la actividad respiratoria. La medida de la respiración de refiere tanto a la producción de  $CO_2$  como al consumo de  $O_2$ . Sin embargo, normalmente se mide la producción de  $CO_2$  por ser un procedimiento más sencillo. La medida de la actividad respiratoria se puede realizar por un sistema estático o cerrado, o por un sistema dinámico, de flujo o abierto. En nuestro experimento se optó por un sistema estático.

Utilizamos el sistema estático propuesto por Kader (1992). Este sistema implica encerrar el producto en un recipiente herméticamente cerrado por un período de tiempo determinado. El gas

producido como consecuencia de la respiración se acumula con el tiempo en el interior del recipiente. La cantidad de gas producido puede determinarse conociendo el peso del producto, el volumen del recipiente y la concentración del gas después de un determinado período de tiempo utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{mg.CO_2}{kg \times h} = \frac{(V - P) \times (26400 \times \text{área}.CO_2)}{22,4 \times P \times T}$$

Donde:

V = volumen del recipiente (ml)

P = peso de la muestra (g)

Área CO<sub>2</sub> = área obtenida en el cromatógrafo

T = tiempo que ha permanecido cerrado el recipiente (min)

Para la determinación de etileno y CO<sub>2</sub> en sistema estático se introdujeron los frutos enteros por lotes en tarros de vidrio de 4 litros de capacidad, con cierre hermético y una tapadera que tenía una válvula de material elastómero que permitió realizar las inyecciones.

Los frutos permanecieron en los tarros cerrados durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, se procedió a extraer el aire del espacio de cabeza del interior del recipiente. Se extrajeron 5 jeringuillas con un volumen de 1 ml cada una de cada uno de los recipientes. Para determinar el CO<sub>2</sub>, se inyectó el contenido de las jeringuillas en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 14 A).

El pico de CO<sub>2</sub> se detecta por su tiempo de retención, que en estas condiciones de trabajo se encuentra entre 1,4 y 1,6 minutos. La concentración de CO<sub>2</sub> en las muestras tomadas en los botes, se calcula comparando el área de integración del pico de la muestra con la de un patrón de CO<sub>2</sub> de concentración conocida, que en este experimento fue la presente en la atmosfera, de 0.036%.

Los resultados se expresaron en mg de CO<sub>2</sub> desprendido por kg de fruta y hora (mg CO<sub>2</sub> × kg<sup>-1</sup> × h<sup>-1</sup>).

### 3.3.3 Color

El color se determinó utilizando el sistema Hunter Lab (L\*, a\*, b\*) mediante un colorímetro triestímulo Minolta modelo CR200. Se realizaron tres medidas del color para cada fruto en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial.

Este sistema de medida es el más ampliamente conocido puesto que permite aproximarse a la percepción humana del color. Estas coordenadas están relacionadas con tres índices básicos que se pueden distinguir en cualquier apreciación del color: luminosidad y cromaticidad.

Estos tres parámetros son:

**L\***. Indica la luminosidad del fruto y varía de 0 (negro) a 100 (blanco). Así mismo, **a\*** y **b\***. indican conjuntamente la cromaticidad; a\* representa el eje que va desde colores verdes (-a\*) hasta colores rojos (+a\*); y b\* representa el eje que va desde el color azul (-b\*) hasta color amarillo (+b\*). Cada color viene dado por los valores de estas tres coordenadas, que representan un punto en el espacio tridimensional (Minolta, 1994). Los resultados se expresaron como L\*, a\*, b\* y el ángulo de Hue ( $H^* = \arctg b^*/a^*$ ).

**Fotografía 10:** Colorímetro utilizado para medir el color.



#### **3.3.4 Sólidos solubles totales (SST)**

Para la determinación del contenido total en sólidos solubles (SST) se utilizó la refractometría sobre el zumo filtrado extraído de cada lote de cinco granadas. Esta técnica se basa en la diferencia que existe entre los índices de refracción del agua destilada y un medio de concentración determinada de sustancias disueltas. Este método no establece estrictamente el nivel de azúcares, sino la concentración de sólidos solubles, la cual se relaciona con el nivel de azúcares y con el estado de madurez de los frutos.

Antes de realizar la determinación de los sólidos solubles se llevó a cabo la preparación de las muestras. Para ello se cortaron por la mitad las cinco granadas de cada uno de los lotes a analizar y se envolvió en una tela de algodón para exprimirlos con la ayuda de un mortero. Así se extrajo el zumo de los frutos y se realizaron dos medidas de cada cinco frutos.

**Fotografía 11:** Refractómetro utilizado para medir los °Brix (SST).



Para realizar la determinación de los sólidos solubles se midieron los °Brix colocando unas gotas en un refractómetro Warszawa modelo RL2, con una sensibilidad de  $\pm 0,2$  °Brix. El refractómetro se calibra con agua destilada, y las medidas se realizaron a 20°C.

### 3.3.5 Acidez titulable (AT)

Para determinar la acidez de los frutos se utilizó 1 mL del zumo extraído tras exprimir los arilos de las granadas y se disolvió en 25 mL de agua destilada. Para llevar a cabo el análisis se utilizó un valorador automático Metrohm, modelo 785DMP Tritino, complementado con un cambiador de 24 posiciones modelo 760 y con una impresora modelo DP40-24N. Así se obtiene el pH inicial y se realiza la valoración hasta un pH final de 8,1 con NaOH 0,1 N. Los resultados se expresaron en mg equivalentes del ácido orgánico mayoritario, que en el caso de esta variedad de granada es el ácido málico. El resultado final se expresó en: media  $\pm$  ES.

$$\text{g de ácido málico/100 mL} = 6,7 * V_1 * f * N / P$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH.

V<sub>1</sub> = volumen de NaOH 0.1 N utilizado en la valoración.

F = Factor del NaOH.

P = Peso de la muestra (g).

### 3.3.6 Índice de madurez

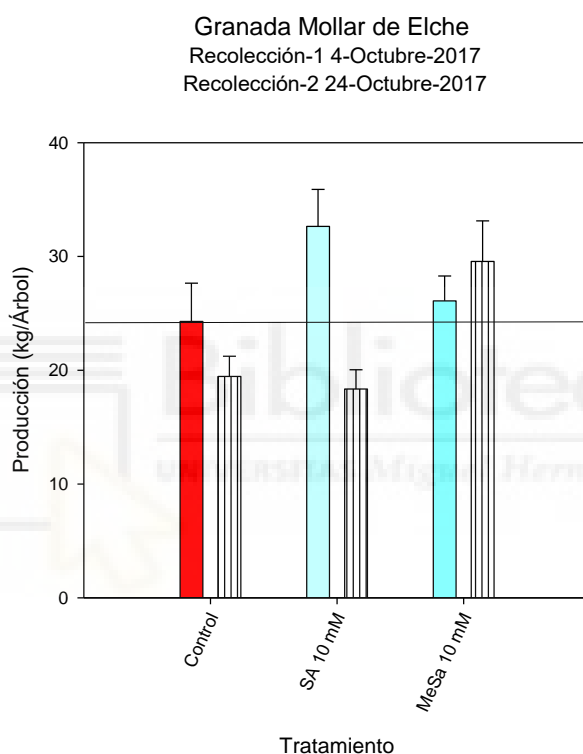
El índice de madurez se calcula una vez conocemos los valores de los sólidos solubles (SST) y la acidez, ya que el índice de madurez es el cociente SST/acidez.

Este parámetro está relacionado con el grado de maduración real de la fruta, por lo que el estudio de su evolución a lo largo del experimento resulta muy importante.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE LA PRECOSECHA

Tras la aplicación de los tratamientos pre-cosecha con Ácido Salicílico (SA, 10 mM) y Salicilato de metilo (MeSA 10 mM), la determinación de la producción total se evaluó en 2 fechas de recolección (4 y 24 de octubre). Los resultados (Gráfica 4) muestran que ambos tratamientos fueron eficaces en incrementar la producción total (kg/árbol).

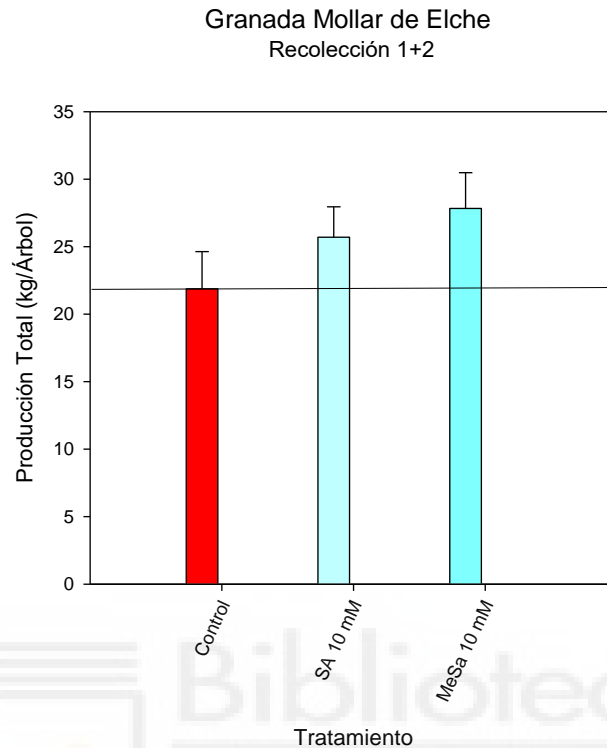


**Gráfica 4:** Producción de granadas (kg/árbol) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en las 2 fechas de recolección.

Así mismo se pudo comprobar que el ácido salicílico adelantaba el proceso de maduración (mayor producción, 33 kg/árbol) comparados con los árboles control (24 kg/árbol), mientras que no se afectó aquellos árboles tratados con Salicilato de Metilo (26 kg/árbol), pero si en la segunda recolección (30 kg/árbol) comparados con el control (20 kg/árbol), lo que indica un retraso en la maduración.



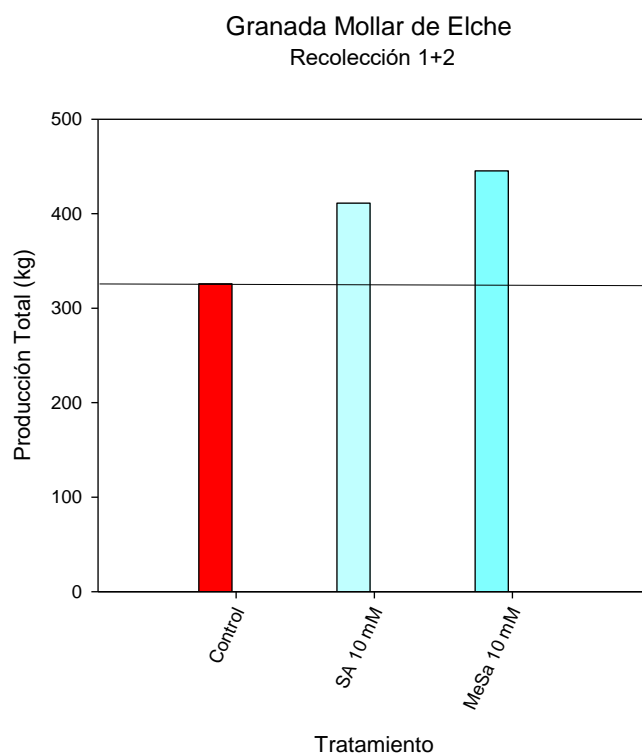
Teniendo en cuenta los datos de ambas fechas de recolección se pudo observar que ambos tratamientos conllevaron a un incremento significativo de la producción, un 17 y un 27% más en los árboles tratados con SA y MeSa, respectivamente (Gráfica 5).



**Gráfica 5:** Producción total de granadas (kg/ árbol) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en la recolección.

La aplicación de estos tratamientos no ha sido probada en granada, por lo que no se dispone de datos comparativos. No obstante, la eficacia de estos elicitors como tratamientos pre-cosecha ha sido comprobada en otros frutos como ciruela y cereza. Así en cereza, la aplicación de SA a 3 concentraciones (0.5, 1 y 2 mM) incrementó el tamaño del fruto, así como la producción (Giménez et al., 2014). De igual forma, en cereza la aplicación de MeSA incremento la producción y calidad en el momento de la recolección (Valverde et al., 2015).

Un resultado interesante de destacar es la producción total expresada en kg de fruta, en la que se observa en los árboles controles un valor de 325 kg y significativamente superior en los árboles tratados con SA (411 kg) y con MeSA (445 kg) (Gráfica 6).



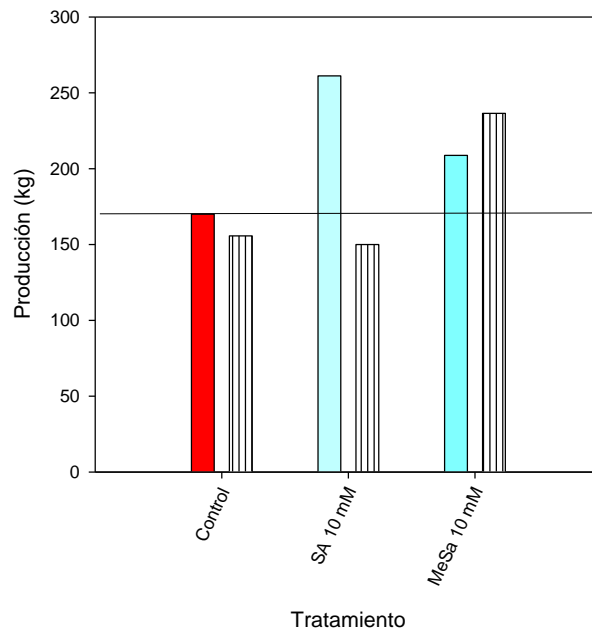
**Gráfica 6:** Producción total de granadas (kg) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en la recolección.

Cuando se analizó esta producción por fechas de recolección, se pudo comprobar que la mayor parte de kg se recolectaron en la primera fecha (4 de octubre) para el SA y en la segunda fecha (24 de octubre para el MeSA), mientras que para los controles en ambas fechas se recolectaron el mismo número de kg (Gráfica 7).

De estos resultados se confirma que la aplicación de SA provoca una aceleración de la maduración de la granada y la aplicación de MeSA induce un retraso en la maduración.

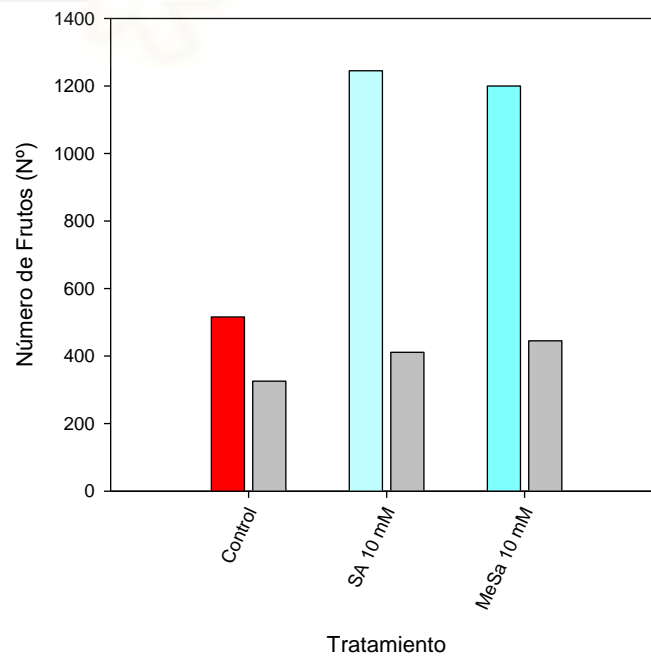
De igual forma, en la determinación del número total de frutos se pudo comprobar que ambos tratamientos fueron eficaces en incrementar el número total de frutos, y que estos se recolectaron en mayor medida en la primera recolección (Gráfica 8). En cereza se observó un comportamiento similar tras la aplicación de MeSA a 3 concentraciones (0.5, 1 y 2 mM) con un aumento neto de la producción en cuanto a tamaño, peso y número de frutos (Giménez et al., 2015; 2017).

Granada Mollar de Elche  
Recolección-1 4-October-2017  
Recolección-2 24-October-2017



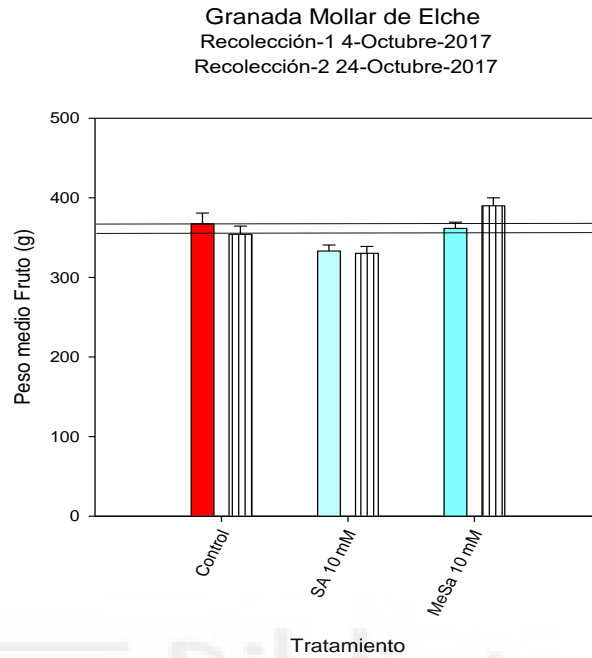
**Gráfica 7:** Producción de granadas (kg) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en las 2 fechas de recolección.

Granada Mollar de Elche  
Recolección 1+2

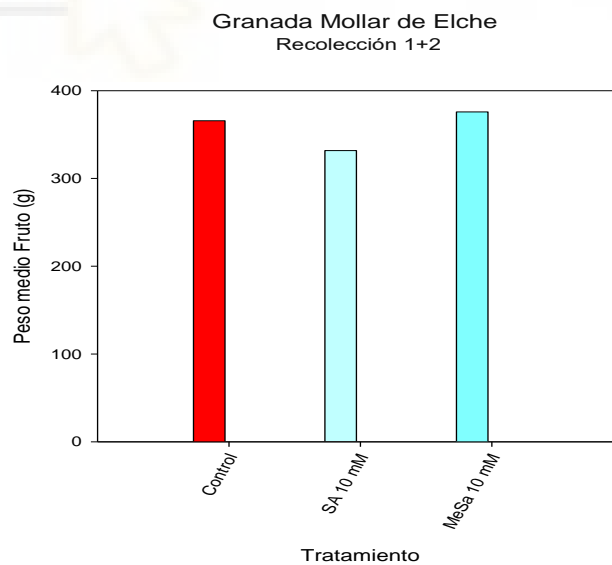


**Gráfica 8:** Producción de granadas (número de frutos) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en las 2 fechas de recolección.

En cuanto al peso medio del fruto (Gráfica 9), se observó que era inferior en los árboles tratados con SA y ligeramente superiores en los tratados con MeSA, con un valor medio de 370 g (Gráfica 10).



**Gráfica 9:** *Peso medio de granadas (g) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en las 2 fechas de recolección.*



**Gráfica 10:** *Peso medio de granadas (g) control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM).*

## 4.2 CALIDAD DE LOS FRUTOS DE LA GRANADA

La calidad de las granadas se evaluó en el momento de la recolección. Para ello, se analizaron diferentes parámetros de calidad, como son: la tasa de respiración, los sólidos solubles totales (SST), la acidez titulable (AT) y el índice de madurez (IM). Los resultados (Tabla 4) muestran que los tratamientos pre-cosecha con los elicitores Ácido Salicílico (SA) y Salicilato de Metilo (MeSA) a la concentración de 10 mM, no influyen negativamente en la calidad de las granadas tratadas respecto al control.

Tratamiento	Tasa de respiración (mg CO <sub>2</sub> × kg <sup>-1</sup> × h <sup>-1</sup> )	SST (°Brix)	AT (g de ác. málico/100 mL)	IM (SST/AT)
Control	21.46±0.41	17.42±0.05	0.41±0.02	42.93±1.97
SA 10 mM	21.20±0.81	17.43±0.05	0.45±0.02	39.47±1.52
MeSA 10 mM	20.97±0.70	17.08±0.09	0.43±0.01	40.15±0.94

**Tabla 4:** Evaluación de la calidad de las granadas control y tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) en el momento de la recolección.

En cuanto al color externo de la granada, los resultados (Tabla 5) confirman que los dos tratamientos aumentaron el color rojizo y la saturación del color con respecto al control. La evidencia de ello reside en que en las granadas tratadas con Ácido salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo (10 mM) muestran un valor positivo más alto del parámetro a\* comparadas con el control, lo cual indica que presentan una tonalidad más roja. Esto es muy importante sobre todo en esta variedad de granada que presenta problemas de coloración.

Tratamiento	L*	a*	b*	H*
Control	71.4±1.31	18.0±1.80	37.2±0.48	64.7±2.21
SA 10 mM	66.2±0.85	28.8±1.43	35.6±0.69	51.2±1.65
MeSA 10 mM	69.6±1.01	22.6±1.85	37.0±0.53	59.1±2.33

**Tabla 5:** Valores de los parámetros de color (L\*, a\*, b\*) y ángulo de Hue en las granadas control y en las tratadas con Ácido Salicílico (10 mM) o Salicilato de Metilo en la recolección.

## 5. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

**Primera.** La aplicación de los elicitores Ácido salicílico y Salicilato de Metilo a dosis de 10 mM aumentó la producción total de granadas en un 17 y un 27%, respectivamente. También es destacable el incremento de la producción en kg/árbol, siendo esta mayor que en los controles.

**Segunda.** El Ácido Salicílico provoca un adelanto en la maduración de los frutos, por lo que la producción es mayor en la primera recolección, mientras que el Salicilato de Metilo la retrasa, obteniendo una mayor producción en la segunda recolección.

**Tercera.** Los tratamientos producen un aumento considerable en el número de frutos, sobre todo en la primera recolección. Por el contrario, el peso medio de los frutos es ligeramente inferior en los tratados con Ácido Salicílico 10 mM y se mantienen sin diferencias respecto al control en los tratados con Salicilato de Metilo 10 mM.

**Cuarta.** Los elicitores no ejercen efectos negativos sobre la calidad de las granadas, registrándose valores similares en los diferentes parámetros de calidad nutritiva (SST, AT e IM). Se puede afirmar que los frutos que han sido tratados con Ácido Salicílico 10 mM presentan un color rojo más intenso que los no tratados, lo cual les proporciona un mayor valor comercial.

**Quinta.** Los estudios con los elicitores aplicados en pre-cosecha y la búsqueda de otros nuevos deben seguir desarrollándose, ya que son muy útiles para mejorar la producción y la calidad de numerosas frutas y hortalizas, además de ser tratamientos relativamente baratos. Resultaría interesante ver el efecto que tienen cuando estas frutas son almacenadas en frío, ya que podrían llegar a ser herramientas útiles para alargar su vida útil.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbot, J.A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest. Biol. Technol. 15:207-225.
- Abid, M., Yaich, H., Hidouri, H., Attia, H., Ayadi, M.A. (2018). Effect of substituted gelling agents from pomegranate peel on colour, textural and sensory properties of pomegranate jam. Food Chemistry 239:1047-1054.
- Alcaraz-Marmol, F., Nuncio-Jauregui, N., Calin-Sanchez, A., Carbonell-Barrachina, A.A., Martinez, J.J., Hernandez, F. (2015). Determination of fatty acid composition in arils of 20 pomegranates cultivars grown in Spain. Scientia Horticulturae 197:712-718.

- Al-Kahtani, H.A. (1992). Intercultivar differences in quality and postharvest life of pomegranates influenced by partial drying. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(1):100-104.
- Alvarez, A.L. (2000). Salicylic acid in machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. *Plant Molecular Biology* 44:429-442.
- Amorós, A., Melgarejo, P., Martínez, J.J., Hernández, F., Martínez, M. (2000). Characterization of the fruit of five pomegranate (*Punica granatum* L.) clones cultivated in homogeneous soils. *Options Méditerranéennes Ser. A.* 42:129-135.
- Artés, F., Tudela, J.A., Gil, M.I. (1998). Improving the keeping quality of pomegranate fruit by intermittent warming. *European Food Research and Technology* 207(4):316-321.
- Babalar, M., Ashgari, M., Talaei, A., Khosroshahi, A. (2007). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry* 105(2):449-453.
- Beckers, G.J.M. & Spoel, H. (2006). Fine-tuning plant defence signaling: salicylate versus jasmonate. *Plant Biology* 8:1-10.
- Ben-Arie, R., Segal, N., Guelfat-Reich, S. (1984). The maturation and ripening of the 'Wonderful' pomegranate. *J Amer Soc Hort Sci* 109:898-902.
- Blumenfeld, A., Shaya, F., Hillel, R. (2000). Cultivation of pomegranate. In: Melgarejo, P. (ed.), Martínez-Nicolás, J.J. (ed.), Martínez-Tomé, J. (ed.). *Production, processing and marketing of pomegranate in the Mediterranean region: Advances in research and technology*. Zaragoza: CIHEAM, 2000. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; 42:143-147).
- California Rare Fruit Growers (1997). Pomegranate. 1 Sept. 2006. [www.crfg.org/pubs/ff/pomegranate.html](http://www.crfg.org/pubs/ff/pomegranate.html).
- Carbonell-Barrachina, A.A. & Cano-Lamadrid, M. (Edición 2017). *Punicalagina: Antioxidante natural de la granada. Propiedades y beneficios para la salud*. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Cerdà, B., Cerón, J.J., Tomás-Barberán, F.A., Espín, J.C. (2003). Repeated oral administration of high doses of the pomegranate ellagitannin punicalagin to rats for 37 days is not toxic. *J Agric Food Chem* 51(11):3493-3501.
- Cleland, C.F., Ajami, A. (1974). Identification of the flower-inducing factor isolated from aphid honeydew as being salicylic acid. *Plant Physiology*, 54(6):904-906.
- Costa, Y. & Melgarejo, P. (2000) A study of the production costs of two pomegranate varieties grown in poor quality soils. In: Melgarejo, P. (ed.), Martínez-Nicolás, J.J. (ed.), Martínez-

- Tomé, J. (ed.). Production, processing and marketing of pomegranate in the Mediterranean region: Advances in research and technology. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. 42:49-53.
- Crisosto, C.H. (1997). Stone fruit ripening protocol for receivers. 97/101, slide set with cassette tape. Division of Agriculture and Natural Resources.
- Davarpanah, S., Tehranifar, A., Abadía, J., Val, J., Davarynejad, G., Aran, M., Khorassani, R. (2018). Foliar calcium fertilization reduces fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani). *Scientia Horticulturae*. 230:86-91.
- Dave Wilson Nursery (2005). Pomegranate. 1 Sept. 2006. [www.davewilson.com/br40/br40\\_trees/br40Pomegranate.html](http://www.davewilson.com/br40/br40_trees/br40Pomegranate.html).
- Davidson, M.H., Maki, K.C., Dicklin, M.R., Feinstein, S.B., Witchger, M.S., Bell, M., McGuire, D.K., Provos, J.C., Liker, H., Aviram, M., (2009). Effects of consumption of pomegranate juice on carotid intima-media thickness in men and women at moderate risk for coronary heart disease. *American Journal of Cardiology* 104(7):936-942.
- Eckert, J.W. and Ogawa, J.M. (1988). The chemical control of postharvest disease: deciduous fruit, berries, vegetables and root/tuber crops. *Annual Review of Phytopathology* 26:433-469.
- Elyatem, S.M. & Kader, A.A. (1984). Postharvest physiology and storage behaviour of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae* 24(3-4):287-298.
- Enyedi, A.J., Yalpani, N., Silverman, P., Raskin, I. (1992). Signal molecule in systemic plant resistance to pathogens and pests. *Cell*, 70:879-886.
- Fadavi, A., Barzegar, M., Hossein Azizi, M. (2006). Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(6-7):676-680.
- FEPEX. (Federación Española de Asociaciones de Productores y Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas vivas). <http://www.fepex.es/> Consultada en diciembre de 2017.
- Garrido, J.I., Lozano, J.E., Genovese, D.B. (2015). Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. *LWT Food Science and Technology* 62(1):325-332.
- Giménez, M.J., Serrano, M., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., Guillén, F. (2017). Preharvest salicylic acid and acetylsalicylic acid treatments preserve quality and enhance antioxidant systems during postharvest storage of sweet cherry cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(4):1220-1228.



- Giménez, M.J., Valverde, J.M., Valero, D., Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Serrano, M., Moral, J., Castillo, S. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees improve fruit quality at harvest and during storage. *Sci. Hort*, 197:665-673.
- Giménez, M.J., Valverde, J.M., Valero, D., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Serrano, M., Castillo, S. (2014). Quality and antioxidant properties on sweet cherries as affected by preharvest salicylic and acetylsalicylic acids treatments. *Food Chemistry*, 160:226-232.
- Giménez, M.J., Valverde, J.M., Valero, D., Zapata, P.J., Castillo, S., Serrano, M. (2016). Postharvest methyl salicylate treatments delay ripening and maintain quality attributes and antioxidant compounds of 'Early Lory' sweet cherry. *Postharvest Biology and Technology* 117:102-109.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2012). A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food and Bioproducts Processing* 90(4):639-652.
- Gozlekci, S. & Kaynak, L. (2000). Investigations on pollen production and quality in some standard pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Options Méditerranéennes, Ser. A* 42:71-77.
- Granada Mollar de Elche. <http://www.gradadaseche.com/> Consultada en diciembre de 2017.
- Gur, A. (1986). *Punica granatum*. In: Halevy, A.H. (ed.) *CRC Handbook of flowering*, CRC Press. Florida, USA. 4:147-150.
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68(1):14-25.
- Heidel, A.J., Clarke, J.D., Antonovics, J., Dong, X. (2004). Fitness costs of mutations affecting the systemic acquired resistance pathway in *Arabidopsis thaliana*. *Genetics* 168(4):2197-2206.
- Holland, D., Hatib, K., Bar-Ya'akov, I. (2009). Pomegranate: Botany, horticulture, breeding. *Horticultural Reviews* 35:127-191.
- Huang, R., Xia, R., Lu, Y., Hu, L., Xu, Y. (2008). Effect of pre-harvest salicylic acid spray treatment on post-harvest antioxidant in the pulp and peel of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88(2):229-236.
- Kader, A.A. (2006). Postharvest biology and technology of pomegranates. In: Seeram, N.P., Schulman, R.N., Heber, D., editors. *Pomegranates: Ancient Roots to Modern Medicine*. Boca Raton, FL: CRC Press. 211-220.
- Kader, A.A., Chordas, A., Elyantem, S. (1984). Responses of pomegranates to ethylene treatment and storage temperature. *California agriculturae* 38:14-15.
- Karp, D. (2006). The pomegranate: For one and all. *Fruit Gardener* 38:8-12.

- Khadivi-Khub, A. (2015). Physiological and genetic factors influencing fruit cracking. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(1):1-14.
- Lafuente, M.T., Zacarías, L., Sala, J.M., Sánchez-Ballesta, M.T., Lluch, Y., Gosalbes, M.J., Granell, A., Marcos, J.F., González-Candelas, L. (2005). Understanding the basis of chilling injury in citrus fruit. *Acta Horticulturae* 682:831-842.
- LaRue, J.H. (1980). Growing pomegranates in California. UC Division of Agricultural Sci Leaflet 2459.
- Lee, H.-I. & Raskin, I. (1998). Glucosylation of salicylic acid in *Nicotiana tabacum* Cv. Xanthi-nc. *Phytopathology*, 88(7):692-697.
- Lee, S.W., Kim, K.S., Kim, S.D. (1974). Studies on changes in the composition of the pomegranate fruit during maturation. 1. Changes in sugars, organic acids, amino acids, and the respiration rate. *J Korean Soc Hort Sci* 15:57-68.
- Leslie, C. & Romani, R. (1986). Salicylic acid a new inhibitor of ethylene biosynthesis. *Plant Cell Reports* 5:144-146.
- Levin, G.M. (2006). *Pomegranate Roads: A Soviet Botanist's Exile from Eden*. Bear, B.L., editor. Forestville, CA: Floreat Press. 15-183.
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., Cheng, S., (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chemistry* 96(2):254-260.
- MAPAMA. (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España). <http://www.mapama.gob.es/es/> Consultada en diciembre de 2017.
- Melgarejo, P. & Martínez, R.Y. (1992). *El Granado*. Madrid: Mundi-Prensa. 163 p.
- Melgarejo, P., Martínez, J.J., Hernández, F., Martínez-Font, R., Barrows, P., Erez, A. (2004). Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100(1-4):349-353.
- Melgarejo, P., Salazar, D.M., Artes, F. (2000). Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. *European Food Research and Technology* 211(3):185-190.
- Mietkiewska, E., Lin, Y., Weselake, R.J. (2014). Engineering production of C18 conjugated fatty acids in developing seeds of oil crops. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 3(1):44-48.
- Mirdehghan, S.H. & Rahemi, M. (2007). Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 111(2):120-127.
- Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Serrano, M., Valero, D. (2007). Pre-storage application of polyamines by pressure or immersion improves shelf-life of

- pomegranate stored at chilling temperature by increasing endogenous polyamine levels. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1):26-33.
- Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J.M., Zapata, P.J., Serrano, M., Valero, D. (2007). Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. *Postharvest Biology and Technology* 44(1):19-25.
- Morton, J. (1987). *Fruits of warm climates*. Miami, FL.
- Mphahlele, R.R., Fawole, O.A., Makunga, N.P., Linus Opara, U. (2017). Functional properties of pomegranate fruit parts: influence of packaging systems and storage time. *Journal of Food Measurement and Characterization* 11(4):2233-2246.
- Nerya, O., Gizis, A., Tsvilling, A., Gemarasni, D., Sharabi-Nov, A., Ben-Arie, R. (2006). Controlled atmosphere storage of pomegranate. *Acta Horticulturae* 712 II:655-659.
- Noda, Y., Kaneyuki, T., Mori, A., Packer, L. (2002). Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: Delphinidin, Cyanidin, and Pelargonidin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(1):166-171.
- Popova, L., Pancheva, T., Uzunova, A. (1997). Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 23:85-93
- Rahemi, M. & Mirdehghan, S.H. (2004). Effect of temperature conditioning on reducing chilling injury of pomegranate fruits during storage. *Acta Horticulturae* 662(1):87-91.
- Raskin, I. (1992a). Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 43(1):439-463.
- Raskin, I. (1992b). Salicylate, a new plant hormone. *Plant Physiology* 99(3):799-803.
- Raskin, I., Skubatz, H., Tang, W., Meeuse, B.J.D. (1990). Salicylic acid levels in thermogenic and non-thermogenic plants. *Annals of Botany* 66(4):369-373.
- Ray, P.K. (2002). *Breeding Tropical and Subtropical fruits*. Alpha Science International Ltd., Pangbourne, UK.
- Romani, S., Campuzano, S., Macagno, E.R., Modolell, J. (1989). Expression of achaete and scute genes in *Drosophila* imaginal discs and their function in sensory organ development. *Genes Dev* 3(7):997-1007.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M., Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Postharvest Biology Technology* 53(3):152-54.

- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulator* 30:157-161.
- Seppi, A. & Franciosi, A. (1980). Chemical composition of Pomegranate juice (*Punica granatum*): Amino acid contents. *Rivista della Società Italiana di Scienze dell'Alimentazione* 9:211-212.
- Sharon-Asa, L., Shalit, M., Frydman, A., Bar, E., Holland, D., Or, E., Lavi, U., Lewinsohn, E., Eyal, Y. (2003). Citrus fruit flavor and aroma biosynthesis: isolation, functional characterization, and development regulation of *Cstps1*, a key gene in the production of the sesquiterpene aroma compound valencene. *The Plant Journal* 36(5):664-674.
- Shewfelt, R. & Bruckner, B. (2000). *Fruit and Vegetable Quality: An Integrated View*. CRC Press.
- Siddiq, M. (2012). *Tropical and subtropical fruits: postharvest physiology, processing and packaging*. Ed: Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0-8138-1142-0.
- Singh, R.P., Kar, P.L. & Dhuria, H.S. (1978). Studies on the behaviour of flowering and sex expression in some pomegranate cultivars. *Plant Sci.* 10:29-31.
- Supapvanich, S., Mitsang, P., Youryon, P. (2017). Preharvest salicylic acid application maintains physicochemical quality of 'Taaptimjaan' wax apple fruit (*Syzygium samarangense*) during short-term storage. *Scientia Horticulturae* 215:178-183.
- Tezcan, F., Gültekin-Özgülven, M., Diken, T., Özçelik, B., Erim, F.B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry* 115(3):873-877.
- Valverde, J.M., Giménez, M.J. Guillén, F., Valero, D., Martínez-Romero, D., Serrano, M. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees increase antioxidant systems in fruit at harvest and during storage. *Postharvest Biol Technol* 109:106-113.
- Vijay Rakesh Reddy, S., Sharma, R.R., Srivastav, M., Kaur, C. (2016). Effect of pre-harvest application of salicylic acid on postharvest behaviour of 'Amrapali' mango fruits during storage. *Indian Journal of Horticulture* 73(3):405-409.
- Vlachojannis, C., Zimmermann, B.F. & Chrubasik-Hausmann, S. (2015). Efficacy and safety of pomegranate medicinal products for cancer. *J. Evid. Based Complementary Altern. Med.* Article ID 258598.
- White, R.F. (1979). Acetylsalicylic acid (aspirin) induces resistance to tobacco mosaic virus in tobacco. *Virology* 99(2):410-412.
- Wildermuth, M.C., Dewdney, J., Wu, G., Ausubel, F.M. (2001). Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defence. *Nature* 414(6863):562-565.

- Yalpani, N., Enyedi, A.J., Leon, J., Raskin, I. (1994). Ultraviolet light and ozone stimulate accumulation of salicylic acid, pathogenesis-related proteins and virus resistance in tobacco. *Planta* 193:372-376.
- Yao, H. & Tian, S. (2005). Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology* 35(3):253-262.
- Yilmaz, C. (2007). *Nar*. Istanbul, Turkey: Hasad Yayincilik 9-179.
- Yilmaz, C., Ozguven, A.I. (2006). Hormone physiology of preharvest fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Acta Horticulturae* 727:545-550.
- Zarei, M., Azizi, M. & Bashir-Sadr, Z. (2011). Evaluation of physicochemical characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit during ripening. *Fruits* 66(2):121-129.

