



## Capítulo XII.

# GRANADO, HIGUERA Y CAQUI

**Granado: Pablo Melgarejo, Juan José Martínez, Pilar Legua, Rafael Martínez-Font y Francisca Hernández**

Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández de Elche). Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Orihuela (Alicante)

**Higuera: Margarita López- Corrales, Francisco Balas, Fernando Pérez-Gragera y Guadalupe Domínguez**

Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX). Centro de Investigación Finca La Orden-Valdesequera  
Departamento de Hortofruticultura

**Caqui: M<sup>a</sup> Luisa Badenes<sup>1</sup>, Mar Naval<sup>2</sup>, Simona Pecchioli<sup>3</sup> y Edgardo Giordani<sup>3</sup>**

- 1 Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - IVIA - Valencia - España
- 2 Cooperativa Virgen del Oretó de L'Alcudia - Valencia - España
- 3 Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agro-Alimentari e dell'Ambiente - DISPAA - Università di Firenze - Italia





## CONTENIDO:

1. Granado
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. Cambio climático: efectos actuales y perspectivas de futuro
  - 1.3. Objetivos de mejora
  - 1.4. Biotecnología aplicada a la mejora genética
  - 1.5. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en la mejora genética
2. Higuera
  - 2.1. Introducción
  - 2.2. Cambio climático: efectos actuales y perspectivas de futuro
  - 2.3. Objetivos de mejora
  - 2.4. Biotecnología aplicada a la mejora genética
  - 2.5. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en la mejora genética
  - 2.6. Agradecimientos
3. Caqui
  - 3.1. Introducción
  - 3.2. Cambio climático: efectos actuales y perspectivas de futuro
  - 3.3. Objetivos de mejora
  - 3.4. Biotecnología aplicada a la mejora genética
  - 3.5. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en la mejora genética
4. Bibliografía

## Capítulo XII.

# GRANADO, HIGUERA Y CAQUI

## 1. Granado

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El granado (*Punica granatum* L.) es un frutal apreciado por las diferentes civilizaciones desde antiguo, muy interesante para muchas regiones del mundo y que durante los últimos años está experimentando un importantísimo desarrollo, tanto por el aumento de plantaciones en todo el mundo como por la importancia que los investigadores y la sociedad ha dado a sus propiedades como alimento funcional y para la prevención y curación de enfermedades. Las investigaciones sobre sus propiedades y usos han despertado un renovado interés por la investigación agronómica y la obtención de nuevas variedades que permitan ampliar el calendario de recolección y mejoren las características de sus frutos en aquellos aspectos más valorados. También se ha desarrollado una nueva industria para su aprovechamiento, destacando la obtención de zumos, la obtención de aceites y extractos para diferentes usos, aunque su principal uso sigue siendo el consumo en fresco.

Este frutal es capaz de adaptarse a diferentes tipos de suelos y climas, tolerando el uso de aguas de mala calidad agronómica, a la vez que tiene menos necesidades hídricas que otros cultivos, razones por lo que ha sido tradicionalmente cultivado en regiones áridas. En los últimos años ha sido capaz, gracias a su rentabilidad, de traspasar las fronteras de estas zonas para ocupar otros con mejores recursos de suelo y agua, compitiendo con otros frutales tradicionalmente más importantes, como los cítricos.

### 1.2. CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTOS ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

A lo largo de la historia han tenido lugar variaciones climáticas, sin embargo, en las últimas décadas estos cambios han sufrido una aceleración respecto al ritmo con el que normalmente ocurrían. Esta fluctuación del clima está afectando sobre todo al régimen de temperaturas y de precipitaciones, por lo tanto, la agricultura resulta, en general, muy vulnerable. No en vano se estima que el incremento de la temperatura para el año 2100 será de entre 1,1 y 4°C (IPCC, 2017), lo que puede suponer graves problemas para la producción agrícola. En estas condiciones se necesitarán cultivos

con demostrada capacidad de adaptación a una amplia gama de condiciones de producción, entre las que se incluyan altas temperaturas y recursos hídricos escasos y de calidad muy variable.

El cultivo del granado no es ajeno a esta situación, resultando también afectado por este cambio, sin embargo, esta especie presenta una rusticidad que le facilita cierta flexibilidad para adaptarse a escenarios con aumento de la temperatura y escasez de recursos hídricos. En general, suelen analizarse los efectos que provoca el cambio climático de forma individual, pero realmente son varios los factores ambientales que de forma conjunta e interactiva terminan influyendo en la expresión vegetativa y en el potencial productivo de los cultivos. Así, estas condiciones de mayor temperatura y menores precipitaciones, generan un mayor diferencial de presión de vapor en la superficie foliar, lo que conlleva una mayor evapotranspiración que originará situaciones de estrés abiótico más intensas que las actuales, lo que también afectará al cultivo del granado. Sin embargo, aunque en condiciones de elevado estrés hídrico los árboles de esta especie pueden vivir y mostrar desarrollo vegetativo, se muestra vulnerable en algunos estados fenológicos, así durante el crecimiento y desarrollo del fruto este tipo de estrés favorecerá de forma muy notable el incremento del rajado de los frutos, así como del asolado o “albardado” de éstos. Las necesidades hídricas del granado son inferiores a las que presentan otras especies leñosas, como por ejemplo los cítricos, por lo que ante un escenario de falta de recursos hídricos esta especie es medioambientalmente más sostenible que otras.

El cambio climático conlleva escasez de precipitaciones, pero también irregularidad de las mismas, siendo frecuente en el Sureste y Levante de España el fenómeno meteorológico de gota fría, en el que una parte importante de la precipitación anual se concentra en unos pocos días, ocasionando inundaciones y encharcamiento en muchas parcelas dedicadas al cultivo del granado. Dada la sensibilidad que presenta este cultivo a la asfixia radicular, esta situación (especialmente en suelos pesados) afecta negativamente a las relaciones hídricas, parámetros de intercambio gaseoso, actividad fotosintética y biomasa seca total (Olmo et al., 2017). Además, en estas condiciones se facilita la aparición de enfermedades en el cuello y raíz de los árboles, que pueden llegar a producir la muerte de la planta.

Las causas que están influyendo en el cambio climático también generan un incremento de los niveles de  $\text{CO}_2$  en el ambiente, lo que en principio puede favorecer el crecimiento del granado en condiciones no estresantes, sin embargo, esto debería ser comprobado experimentalmente, ya que la respuesta del granado bajo situaciones de estrés (elevadas temperaturas y falta de agua) podría ser distinta.



El incremento de la temperatura favorecerá periodos de actividad vegetativa más largos, lo que supone periodos de reposo invernal más cortos. Debido a las bajas exigencias en frío que presenta el granado, dependiendo de la zona del mundo en el que se cultive podría verse o no afectado. En cualquier caso se verá afectada su fenología, acortándose los estados fenológicos que tienen lugar durante el periodo de actividad vegetativa, ello supondrá, en general, en las diferentes variedades de granado, mayor precocidad en cuanto a las fechas de floración y recolección de la fruta. Esto obligará a los productores a elegir aquellas variedades que presenten un patrón fenológico capaz de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, y que satisfagan las exigencias de los consumidores. Así, en otras especies como el manzano, se han propuesto modelos de predicción de la fenología, ya que el momento del desarrollo de determinados estados fenológicos es fundamental para comprender como las plantas responden al cambio del clima (Yun et al., 2017).

El cambio climático ocasionará, no solamente un aumento de diferentes estreses abióticos claves para la producción del granado (salinización del suelo, asfixia radicular por episodios de lluvias torrenciales, deterioro de la calidad del agua y de la erosión del suelo), sino también una mayor presión por factores bióticos, como la introducción de plagas y enfermedades favorecidas por esas nuevas condiciones ambientales, modificación del comportamiento, tanto de las actuales plagas y enfermedades, como de sus depredadores naturales, lo que puede originar nuevos escenarios desconocidos hasta ahora.

Para afrontar esta nueva realidad resultará de vital importancia disponer de bancos de germoplasma de granado con la suficiente variabilidad genética, que nos permita obtener el material vegetal más apto para producir en este nuevo escenario climático, permitiendo adaptar las variedades a las condiciones climáticas cambiantes. También resultarán imprescindibles los avances en genómica, que sienten las bases para una rápida identificación de los genes implicados en los rasgos agronómicos relacionados con el clima, y por lo tanto, la obtención de variedades con una mayor adaptación a este cambio del clima (Scheben et al., 2016).

### 1.3. OBJETIVOS DE MEJORA

A partir de ciertas evidencias, diferentes equipos de investigación han mostrado interés por averiguar las propiedades de esta fruta, realizándose a la vez numerosos ensayos clínicos en muchos hospitales. El conocimiento más profundo de los componentes de esta fruta y las publicaciones científico-técnicas hacen que agricultores y mejoradores se interesen también por obtener frutos de mejor calidad morfológica y gustativa, mejoren las

técnicas de cultivo, mejorando la productividad y el rendimiento económico, buscando nuevas variedades que amplíen el periodo de recolección, perfeccionando las técnicas de conservación, resaltando además las propiedades de la granada como alimento funcional para la prevención/curación de enfermedades, lo que ha hecho que en los últimos años se mejoren las técnicas de cultivo y también se desarrolle notablemente el sector viverístico del granado en España, utilizando nuevas variedades registradas y vendiendo estos nuevos materiales no sólo en España sino en diferentes países del mundo.

### 1.3.1. *El material vegetal*

La única clasificación de patrones conocida hasta el momento (Melgarejo y Salazar, 2003), es la que distingue entre patrones *agrios o bordes* y patrones *dulces*. Los primeros son árboles cuyos frutos son ácidos, presentan un elevado contenido en ácidos orgánicos (AO); los segundos son árboles utilizados como variedades (con menor contenido en AO), por lo que no precisan ser injertados, salvo que se desee realizar un cambio varietal. La *acidez*, que permite clasificar tanto los patrones como las variedades, varía en esta especie entre límites amplios (Melgarejo, 1993), lo que no significa que estudiando una población más amplia no haya continuidad entre los valores de acidez para los tres grupos establecidos. Actualmente, la producción de granados se realiza sobre productores directos, sin que se utilicen patrones en la producción viverística, sin embargo, ya se han comenzado algunos estudios para el uso como patrones de algunos individuos del banco de germoplasma de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH) y sobre otros de reciente obtención, por sus especiales características. El estudio de patrones en esta especie es una asignatura pendiente que ha de abordarse lo antes posible para obtener individuos con mejores características de adaptación al medio ecológico y mejorar la calidad y productividad de las actuales variedades.

En la actualidad las variedades con cierta acidez están teniendo una mayor aceptación, siendo valoradas no sólo por su mayor aptitud para la obtención de productos mínimamente procesados y derivados, sino también por otros atributos de calidad como son: el color rojo externo e interno, una acidez moderada y semillas no tan duras como las de Wonderful.

Del mismo modo se pueden clasificar los patrones y variedades por el índice de madurez (IM) (Melgarejo, 1993). Los valores que se exponen están referidos a las variedades españolas existentes en el banco de Germoplasma de la EPSO (UMH), resultando que las variedades dulces tienen un IM comprendido entre 31,7 y 97,7, mientras para las agrídulces se sitúa entre 17,6 y 23,1 y para las ácidas entre 5,7 y 6,2.



### 1.3.2. Requisitos exigibles a los patrones de granado

Los requisitos exigibles a los patrones de granado en el contexto español, considerando que mayoritariamente se cultiva en la región del Sureste, serían: resistencia a los ataques de barrena (*Zeuzera pyrina* L.), al escaldado del tronco (*Phytophthora* sp.), a la salinidad, a la asfixia radicular, a la caliza activa, a la sequía y a los nematodos; que tengan una baja o nula producción de sierpes, que presenten una capacidad de enraizamiento alta (ya que normalmente se propagan como productores directos) y que induzcan mayor calidad, productividad y calibre a la variedad. Los estudios sobre patrones son muy escasos, y aunque la planta presenta una rusticidad natural destacable, con gran capacidad de adaptación, resulta conveniente iniciar los trabajos necesarios para disponer de patrones adecuados a diferentes situaciones edafoclimáticas.

### 1.3.3. Requisitos exigibles a las variedades

Las variedades de granado son muy numerosas existiendo frecuentemente en las plantaciones tradicionales, dentro del mismo huerto, varios genotipos cuyo aspecto es distinguible a simple vista. Al problema de falta de selección varietal hay que añadir los escasos estudios sanitarios, desconociéndose la incidencia de virus o de fitoplasmas sobre las poblaciones de granado (Melgarejo y Salazar, 2003).

A los frutos de variedades para el consumo en fresco se les exige que sean dulces y de piñón tierno. Sin embargo, aunque las agridulces tienen una cuota de mercado más reducida, en los últimos años esta cuota está aumentando considerablemente hasta llegar a venderse en algunos viveros más de este tipo (moderadamente ácidas) mientras que las agrias encuentran su principal destino en los usos industriales. Se buscan preferentemente frutos de tamaño grande o muy grande, que sean rojos exterior e interiormente, deben tener un elevado rendimiento en semillas (porción comestible) y presentar facilidad para el desgranado; los frutos deben estar bien conformados, con cáliz no muy largo y sépalos cerrados, deben presentar resistencia al agrietado ya que cuando falta humedad en el suelo se pueden alcanzar grandes pérdidas por esta fisiopatía, así como resistencia al albardado (quemaduras por el sol). También resulta importante la resistencia a barrenadores del frutos y a alternaría, habiéndose observado que con la obtención de nuevas variedades, algunas de frutos rojos resultan muy atractivas para los barrenadores de frutos (Criptoblabe, Ectomieloy,...), y otras son más sensibles a alternaría que las cultivadas tradicionalmente.

La búsqueda de nuevas variedades para encontrar un calendario más amplio de recolección y mejores opciones para su comercialización está poniendo de manifiesto algunos problemas como los citados anteriormente, con mayor incidencia de la que se observa en las variedades tradicionales, más adaptadas, por lo que se recomienda realizar los pertinentes ensayos previos antes de optar por una nueva variedad.

A las plantas se les exige que sean productivas, con un adecuado número de flores hermafroditas, con floración y recolección agrupadas, con ausencia de espinas, con vigor adecuado y gran superficie foliar.

#### 1.4. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

El granado es una especie que presenta una gran variabilidad genética, por lo que la determinación de las relaciones genéticas y la identificación precisa de los genotipos para conservar su diversidad genética y la selección de los genotipos deseados es muy importante para los mejoradores. Ello permitirá a los mejoradores poder obtener nuevos cultivares que se adapten a las demandas de mercado. En la actualidad, los distintos centros de investigación que trabajan en la mejora genética de granado centran sus objetivos, principalmente, en: ampliar calendario de recolección y conservación frigorífica, obtener granadas de corteza más roja, sabor sub-ácido y semillas blandas (comúnmente denominado piñón), especialmente aquellos cultivares destinados a la exportación; asimismo también se centran en mejorar la resistencia al albardado, rajado, y a obtener cultivares con mayor contenido en compuestos bioactivos.

Las técnicas biotecnológicas contribuyen positiva y significativamente en los programas de propagación, conservación y mejoramiento de las especies vegetales. A pesar de que en granado todavía existen limitaciones en cuanto a la ingeniería genética que se utiliza en esta especie, varias son las técnicas biotecnológicas que se están utilizando como embriogénesis somática, organogénesis, variación somaclonal, mutagénesis, haploidia y conservación *in vitro*. De entre todas éstas, las técnicas de cultivo de tejidos han sido ampliamente utilizadas especialmente en la selección por tolerancia a distintos estreses (Teixeira et al., 2013).

Los genotipos de granada se han evaluado principalmente en función de los caracteres morfológicos, pero estos rasgos se ven afectados principalmente por las condiciones ambientales y de cultivo, y no dan lugar a una clara discriminación entre ellos (Kumar, 1999). Los procedimientos moleculares son más adecuados para una discriminación precisa de los genotipos y cultivares. Recientemente, se han utilizado los marcadores moleculares para evaluar la diversidad y las relaciones entre los genotipos de granada





(Narzary et al., 2009; Ranade et al., 2009; Hasnaoui et al., 2010; Moslemi et al., 2010; Pirseyedi et al., 2010). Los tipos de marcadores moleculares que se han utilizado en el granado son: (i) ADN polimórfico amplificado aleatoriamente (RAPD) (Zamani et al., 2010; Ercisli et al., 2011), (ii) polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP) (Melgarejo et al., 2009), (iii) polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP) (Moslemi et al., 2010), (iv) polimorfismo de secuencia inter-simple (ISSR) (Narzary et al., 2009), y (v) repeticiones simples de secuencias (SSR) (Soriano et al., 2011).

A pesar de su popularidad estos marcadores, adolecen de reproducibilidad y a menudo no alcanzan la exactitud necesaria en la identificación del genotipo (Zhang et al., 2009). Para superar los inconvenientes de algunos de estos marcadores moleculares utilizando cebadores no específicos, se considera que los marcadores tipo microsatélites (Secuencias Simples Repetidas; SSR) son los mejores marcadores para determinar la diversidad genética de la granada (Ebrahimi et al., 2010; Soriano et al., 2011), dada su abundancia, alto polimorfismo, reproducibilidad y herencia codominante (Varshney et al., 2005). Las ventajas del uso de marcadores de SSR en la caracterización de germoplasma de plantas, en comparación con otros marcadores basados en PCR, está demostrada en un gran número de estudios publicados en diferentes cultivos (Achtak et al., 2009; Sefc et al., 2009; Zhang et al., 2009).

Actualmente, son varios los estudios de diversidad genética en granado que se han llevado a cabo utilizando marcadores SSR (Soriano et al., 2011; Parvaresh et al., 2012; Hasnaoui et al., 2012; Ferrara et al., 2014). Todos los estudios concluyen que los marcadores SSR se pueden usar con éxito para determinar la diversidad genética y la estructura de la población de la granada. Las relaciones cercanas entre algunos genotipos de granada estudiados, de diferentes regiones geográficas, podrían mostrar la existencia de ancestros comunes e indican la diferenciación genética relativamente débil entre los genotipos que probablemente se deba a una base genética intrínsecamente estrecha a partir de la cual se domesticó la granada, combinada con una historia de migración de germoplasma, que ha contrarrestado la selección humana en diferentes regiones de cultivo de granada del mundo.

## 1.5. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN LA MEJORA GENÉTICA

Los recursos fitogenéticos son esenciales para el futuro y sostenibilidad de la agricultura moderna. Suponen una ingente reserva de material genético e información para satisfacer las demandas y nuevos retos del sector agroalimentario (Aguilera, 2012).

La pérdida de esa variabilidad por riesgo de erosión genética supone un claro hándicap a la hora de afrontar los requisitos actuales de los cultivos, además de un incremento en la vulnerabilidad de dichos cultivos frente a la aparición de nuevos patógenos y potenciales cambios ambientales.

Asimismo estos recursos filogenéticos son la base para la obtención de nuevas variedades. Las conocidas como "locales" contribuyen a mantener el equilibrio del ecosistema específico, por su adaptación al medio durante siglos y, por ende, mitigando los posibles efectos adversos atribuibles al cambio climático en la agricultura regional, nacional e internacional. Por tanto se hace imprescindible preservar el rico patrimonio genético agrícola nacional del que se dispone, consecuencia de la evolución e intercambios de material vegetal en la Península Ibérica a lo largo de la historia (Aguilera, 2012).

Según Chandra et al. (2010), el granado fue uno de los primeros cultivos frutales domesticados y cultivados (4.000-3.000 a. C.). Y aun habiendo sufrido un intenso proceso de selección a lo largo de la historia, no se observan grandes diferencias entre las formas cultivadas y las silvestres. Probablemente el ancestro silvestre del granado cultivado tendría una apariencia muy similar, aunque el calibre de los frutos fuera obviamente menor al igual que sus arilos (Still, 2006).

Hoy día el granado se cultiva mundialmente en zonas tropicales y subtropicales, bajo condiciones climáticas muy diversas como consecuencia de su gran variabilidad genética. Se pueden encontrar plantaciones comerciales de granado en numerosos países del arco mediterráneo, al igual que en el continente asiático y la extinta Unión Soviética. También existen plantaciones modernas en Argentina, Australia, Brasil, Chile, Sudáfrica y Estados Unidos (La Rue, 1980; Mars, 1994; Frison and Servinsky, 1995).

La gran diversidad genética observada en la especie frutal del granado queda patente con las más de 500 variedades distribuidas globalmente, de las que aproximadamente 50 se cultivan comercialmente (IPGRI, 2001), lo que ha supuesto una drástica reducción en la variabilidad genética de las variedades modernas de granado, a pesar del reservorio genético todavía existente en sus formas silvestres. Por lo tanto, es extremadamente importante conservar el patrimonio genético de las formas silvestres, así como de cultivares para mantener una amplia base genética para los futuros programas de mejora de granado (Rana et al., 2007).

Diversos grupos internacionales han realizado estudios considerables sobre biodiversidad del granado prospectando, seleccionando y conservando germoplasma de todo el mundo (Frison and Servinsky, 1995; Mars, 2000; Fadavi et al., 2006; Levin, 2006; Still, 2006; Zamani et al., 2007). La mayor colección de germoplasma de granado



se encuentra en Rusia (Still, 2006), mientras que las colecciones de otros países relevantes, así como los listados detallados de cultivares importantes y bancos de germoplasma, país por país, se muestran pormenorizadamente en el estudio realizado por Verma et al. (2010).

Por increíble que parezca y, a colación del estudio citado anteriormente, no se hace mención alguna a la colección de material vegetal de granado existente en la Universidad Miguel Hernández de Elche, concretamente en su Campus agroalimentario de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO). En la década de los 80, fruto del trabajo de prospección, selección y conservación de los recursos genéticos de granado en las provincias de Alicante y Murcia realizado por el Dr. P. Melgarejo, se gestó la creación del banco español de germoplasma de granado, quedando definitivamente establecido en 1998 gracias al Proyecto GENRES financiado por la Unión Europea. En la colección se encuentran un total de 72 accesiones.

Por tanto, el objetivo primordial del mantenimiento de las colecciones de granados autóctonos es evitar el riesgo de erosión genética de los individuos seleccionados, ya sean silvestres o cultivados, asegurando su correcto estado vegetativo y sanitario para que, llegado el caso, puedan extraerse muestras para su intercambio, multiplicación, evaluación y mejora.

“...La conservación, por sí sola, no es suficiente. Para la utilización eficaz de los recursos fitogenéticos son necesarias la caracterización, la evaluación, la documentación y la catalogación apropiada de los mismos. Por último, pero no en último lugar, el acceso a los RFAA es una condición esencial para su empleo en la investigación, el mejoramiento de las plantas y el desarrollo agrícola” (Esquinas-Alcázar, 2005).

## 2. Higuera

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ficus carica* L.,  $2n=26$ ) es una especie frutal perteneciente a la sección Eusyce de la familia Moraceae. El género *Ficus*, comprende alrededor de 700 especies localizadas principalmente en los trópicos y se clasifica en 6 subgéneros, los cuales se caracterizan por un particular sistema reproductivo (Berg, 2003).

Se trata de una especie ginodioica cuyas flores y frutos, numerosos y de pequeño tamaño, se encuentran localizados en el interior de un sicono. Los tipos de flores varían en las dos formas sexuales diferenciadas. Tras un proceso de co-evolución, la poliniza-

ción, denominada caprificación, se realiza exclusivamente mediante el himenóptero *Blastophaga psenes* L. En algunos tipos de higuera la caprificación no es esencial para la producción de frutos comestibles sino que son partenocárpicas. En la higuera hembra, cuando madura el sicono, se observa en su interior una gran cantidad de aquenios y un periantio carnoso y dulce, que es lo que conocemos como brevas e higos. Ambos frutos se diferencian en la fecha de maduración y en la edad del tejido a partir del cual se desarrollan: las brevas en la madera del año anterior y los higos en la madera del año. Las higueras hembras se clasifican en cuatro tipos productivos en base a sus necesidades de polinización y a su fructificación (Condit, 1955):

- Uníferas: producen únicamente higos de forma partenocárpica.
- Bíferas: son productoras de brevas e higos partenocárpicos.
- San Pedro: las brevas se desarrollan de manera partenocárpica, mientras que los higos necesitan ser caprificados.
- Esmirna: producen únicamente higos mediante caprificación.

Se trata de un árbol subtropical de hoja caduca cuyo crecimiento está limitado por las bajas temperaturas del invierno. Las típicas regiones productoras se caracterizan por veranos secos y calurosos, con baja humedad relativa e inviernos templados.

El crecimiento vegetativo y la producción de frutos son fuertemente dependientes de las condiciones climáticas. Generalmente, las higueras vegetan mejor y producen frutos de calidad en clima Mediterráneo seco con temperaturas cálidas. Es una especie de bajas necesidades de horas frío. Si bien la longitud del periodo de dormancia depende de las condiciones climáticas locales. De hecho, en climas desérticos donde las temperaturas del invierno oscilan entre 6 y 10°C, las higueras no pierden las hojas y la dormancia se elimina (Flaishman et al., 2008a).

Teniendo en cuenta que la respuesta del genotipo de higuera a factores ambientales varía ampliamente, en las últimas décadas se han realizado estudios de adaptación y comportamiento agronómico con el objetivo de seleccionar las variedades mejor adaptadas a estos climas (Kuden y Tanriver, 1998; Botti et al., 2003; Aljane y Ferchichi, 2008; Simsek, 2009; Caliskan y Polat, 2011; Gozlekci, 2011; Pereira et al., 2015, 2017). Todos los autores ponen de manifiesto los efectos de las condiciones climáticas en la cosecha, el tipo de producción (brevas e higos), las fechas de maduración y en la calidad de los frutos. Además, la producción de higo para consumo en seco es más dependiente de las condiciones climáticas, siendo más favorables en climas secos con temperaturas cálidas. En cambio, la higuera para la producción de higos en fresco puede ser cultivada bajo un amplio rango de condiciones ecológicas (Flaishman et al., 2008a).



## 2.2. CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTOS ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.

El clima mundial ha ido cambiando siempre, y ha sido diferente del que conocemos actualmente. Hace tres millones de años, el sur de Europa tenía unas condiciones tropicales, y debido a una serie de cambios en la distribución de las masas continentales ha evolucionado hasta un clima como el que conocemos hoy. En los últimos 12.000 años, desde la finalización de la última glaciación, la temperatura media del planeta ha aumentado 8°C por causas naturales (Guzmán Álvarez, 2008).

La emisión antropogénica de gases de efecto invernadero, entre los que se encuentra el CO<sub>2</sub> como más conocido y con una participación estimada del 65%, están originando el denominado cambio climático global, con un aumento de las temperaturas medias (calentamiento global) y una diferente pluviometría tanto en cantidad como en distribución. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), en su informe correspondiente al año 2007, preveía un aumento en la temperatura del aire en la superficie terrestre entre 1.8 y 4°C en el próximo siglo. Este cambio afecta en la actualidad y lo hará más acentuadamente en el futuro a todos los sistemas vivos, incluidas las plantas, y por lo tanto al medio agrario. Estas plantas se ven influidas tanto por el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera como por el de las temperaturas.

El CO<sub>2</sub> es uno de los principales requerimientos abióticos para el desarrollo de las plantas por su efecto limitante en el proceso de la fotosíntesis.

A nivel celular, la respuesta de aclimatación de las plantas en niveles altos de CO<sub>2</sub> han sido descritos en 5 niveles: acumulación de azúcar y represión de genes (Krapp et al., 1993), absorción insuficiente de nitrógeno por la planta (Stitt y Krapp, 1999), unión del fosfato inorgánico con la acumulación de carbohidratos con una subsecuente limitación en la capacidad de regeneración en ribulosa 1,5 bifosfato (RuBP) (Sharkey, 1985); acumulación de almidón en los cloroplastos (Lewis et al., 2002) y capacidad de utilización de triosa fosfato (Hogan et al. 1996).

Los efectos primarios de un aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera incluyen reducción en la conductancia de los estomas y la transpiración, desarrollo en la eficiencia del uso del agua, mayores ratios de fotosíntesis y un incremento en la eficiencia del uso de la luz (Drake y González-Meler, 1997). Estos efectos se traducen posteriormente en una mayor producción de biomasa y un aumento de la productividad (Idso et al, 1996). En este sentido, los autores González-Rodríguez y Peters (2010) estudiaron en hojas de higuera, las estrategias de la expansión foliar, determinando que éstas tienen un crecimiento muy rápido alcanzando la máxima expansión a los 30 días de su emer-

gencia, durante los cuales incrementan el área foliar y su grosor. Esta alta área foliar incrementa el potencial de intercepción foliar, y el alto grosor de la hoja incrementa el potencial de intercambio de gases, pudiendo ser los principales factores de una buena adaptación de *Ficus carica* a las condiciones mediterráneas y de climas semiáridos. No obstante, los efectos positivos derivados de unas mayores tasas fotosintéticas por mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> pueden verse anulados por las mayores temperaturas y/o un descenso de las precipitaciones que afectarían de diferente manera a las distintas zonas de la geografía española, siendo necesario en algunas de ellas un incremento en las necesidades de riego. Es por ello prioritaria la identificación de los distintos niveles de impacto según regiones (Mínguez-Tudela et al., 2005).

El aumento de temperaturas afecta a las plantas sobre su fenología. Estudios realizados sobre la duración de las fenofases (brotación, floración y fructificación) indican en general un adelanto de varios días en distintos frutales, pero la forma en que afecta a estos cultivos depende de diversos factores, tales como la especie, cultivar, área y sistema de producción (Campoy et al., 2011). Para estimar ese impacto es necesario desarrollar modelos fenológicos para las distintas regiones. Una importante restricción debida al cambio climático es la reducción de horas frío, sobre todo en las zonas templadas y subtropicales. Dado que la mayoría de las especies frutales necesitan un determinado número de horas frío para tener una adecuada floración y fructificación, y que su número ha ido disminuyendo de forma paulatina y constante, muchos cultivos estarían en riesgo en lo que a su productividad se refiere. Otros aspectos serían una reducción en los agentes polinizantes o una función inadecuada de éstos, y la aparición de nuevas plagas y enfermedades o el cambio de los ciclos de desarrollo de las ya existentes.

En el caso de las especies del género *Ficus*, las temperaturas y la disponibilidad de agua (Coelho et al., 2014), así como la supervivencia de los polinizadores específicos de cada especie (Kjellberg y Valdeyron, 1990) han sido sugeridos como factores que limitan la distribución de los *Ficus* en diferentes regiones. En este sentido, la dispersión del polen de las higueras depende de las avispas hembras adultas, las cuales, a su vez, sólo pueden realizar la oviposición en las flores brevistilas que tapizan el interior del sicono de los prohigos. Estas avispas polinizadoras tienen una vida muy corta que oscila en torno a las 48 horas (Kjellberg et al., 1988; Kjellberg et al., 2014). La persistencia de este mutualismo depende, por tanto, de la coincidencia entre la fenología de la floración de la higuera y sus polinizadores, en combinación con la dispersión extremadamente efectiva de las avispas adultas femeninas y su capacidad de búsqueda de hospedadores (Ahmed et al., 2009). En consecuencia, los cambios en la fenología de las higueras debido a condiciones climáticas anormales podrían conducir a fluctuacio-

nes drásticas en las poblaciones de las avispas e incluso a su extinción local (Harrison, 2000). Este panorama debe ser tenido en cuenta en el caso de las variedades tipo Esmirna, cuya producción de higos depende de la colocación en los árboles de ramilletes de prohigos con las avispas receptoras, que deben ser reemplazadas cada tres días y durante al menos tres semanas ya que todos los siconos no son receptivos al mismo tiempo (Flaishman et al., 2008a). Esto puede evitarse en gran medida con la utilización de variedades partenocárpicas.

La adaptación al cambio climático requerirá del uso de distintas estrategias, entre las que podemos citar el cambio del tipo de cultivo, de la especie frutal o el uso de variedades más adaptadas.

Las perspectivas de futuro de esta especie en relación al cambio climático pueden considerarse bastante esperanzadoras debido principalmente a su rusticidad, bajas necesidades de horas frío y su adaptación a los climas templados con altas temperaturas estivales. Por un lado, se podrá establecer su cultivo en nuevas zonas con menor riesgo de heladas o inviernos más benignos y, por otro lado, en regadíos con bajas dotaciones de agua ya que sus necesidades hídricas oscilan en torno a los 3500 m<sup>3</sup>/ha para el consumo en fresco (Pereira et al., 2017). Sin embargo, las producciones comerciales podrían verse mermadas notablemente en los secanos tradicionales de suelos poco fértiles y profundos en los que no fuese posible la aplicación de riegos de apoyo durante los meses de verano.

### 2.3. OBJETIVOS DE MEJORA

Actualmente la mejora de la higuera está orientada a satisfacer el elevado criterio de calidad que exige el sector de la fruticultura en lo que se refiere a producción, calidad del fruto y aptitud postcosecha.

- Producción: son necesarias variedades altamente productivas y de rápida entrada en producción, con árboles de menor porte y más resistentes a heladas. También ampliar la época de fructificación mediante el desarrollo de variedades tempranas y tardías.
- Calidad de frutos: Las brevas e higos, para ser comercializadas en fresco, deben ser grandes, firmes, dulces y, sobre todo, más homogéneos en tamaño y forma. Los higos para secado deben tener un elevado contenido en azúcares.
- Aptitud postcosecha: los frutos frescos se degradan rápidamente en el propio árbol y tras su recolección. Por ello es necesario alargar la vida útil, no sólo me-



dian­te mane­jo, si­no tam­bién des­de el en­fo­que de me­jora ge­né­ti­ca de ca­rac­te­res co­mo la fir­me­za y la du­re­za de la piel.

Ade­más de es­tos ob­je­ti­vos, en el fu­tu­ro de­berían in­clu­irse cul­ti­va­res con ba­jos re­que­ri­mien­tos de ho­ras frío, rús­ti­cos y con po­cas ne­ce­si­da­des hí­dri­cas.

#### 2.4. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA.

Da­do que la hi­gue­ra es­tá muy re­le­ga­da des­de el pun­to de la me­jora ve­ge­tal, es­to se re­fle­ja en la es­ca­sa apli­ca­ción de apro­xi­ma­cio­nes bio­tec­no­lógicas al cul­ti­vo. No obs­tan­te sí que exis­ten al­gunas ex­pe­ri­en­cias de cul­ti­vo *in vitro*, mu­ta­gé­ne­sis, trans­for­ma­ción y se­cu­en­cia­ción en la hi­gue­ra.

En lo re­fe­ren­te a las téc­ni­cas de cul­ti­vo *in vitro*, es po­si­ble re­a­li­zar cul­ti­vos de ye­mas y ge­ne­rar in­di­vi­duos co­mple­tos fun­cio­na­les en cam­po, así co­mo la mi­cro­pro­pa­ga­ción de los mis­mos (Mitro­fa­no­va et al., 2016). El co­no­ci­mien­to que se tie­ne so­bre di­fe­ren­tes me­dios de cul­ti­vo para plan­to­nes de hi­gue­ra tam­bién ha per­mi­ti­do es­tu­dios para e­va­lu­ar la to­le­ran­cia a la se­quía en dis­tin­tas va­rie­da­des (She­ka­fan­deh y Ho­ja­ti, 2012). Es­te es­tu­dio de­scri­be la uti­li­za­ción de dis­tin­tas con­cen­tra­cio­nes de po­li­e­til­glicol (PGE) para si­mu­lar es­trés hí­dri­co en los me­dios de cul­ti­vo y sus au­to­res su­gie­ren es­te mé­to­do para o­tras es­pe­cies. Por o­tro la­do, Met­wa­li et al. (2016) in­di­can que el ma­ni­tol pue­de ser uti­li­za­do para ge­ne­rar es­trés hí­dri­co en plan­tas de hi­gue­ra cul­ti­va­das *in vitro* y, me­di­ante téc­ni­cas mo­le­cu­la­res (RAPD y ISSR-PCR), aso­cian tres pri­mers con la to­le­ran­cia a se­quía los cua­les pue­den ser uti­li­za­dos en pro­gra­mas de me­jora vía se­lec­ción asis­ti­da con mar­ca­do­res y de­sar­rol­lar cul­ti­va­res to­le­ran­tes a la se­quía me­di­ante trans­for­ma­ción ge­né­ti­ca.

En cuan­to a la in­ducción de mu­ta­cio­nes para ge­ne­rar va­ria­bi­li­dad, des­ta­ca el uso que se le dió en la Unión So­vié­ti­ca en los años 1980s. Es­ta ex­pe­ri­en­cia se ba­só en el uso de ra­diación gamma y con­clu­yó exi­to­sa­men­te con el lan­za­mien­to de la va­rie­dad 'Bol' (Akhund-Zade 1981).

Las téc­ni­cas de trans­for­ma­ción tam­bién se han apli­ca­do de ma­ne­ra sa­tis­fac­to­ria en hi­gue­ra en Vol­ca­ni Cen­ter, Is­ra­el. Flaish­man (2008b) ha de­scri­to ca­sos exi­to­sos de trans­for­ma­ción ge­né­ti­ca. Aun­que aún no exis­te en el mer­ca­do nin­gu­na va­rie­dad trans­gé­ni­ca, sin du­da es un pro­ce­so que abre mu­chas po­si­bi­li­da­des para la me­jora en las pró­xi­mas dé­ca­das.

Por úl­ti­mo, ha ha­bi­do un avan­ce co­n­si­de­ra­ble en lo que con­cier­ne al co­no­ci­mien­to ge­nó­mi­co y tran­scrip­to­mi­co de la es­pe­cie en los úl­ti­mos años. Ac­tu­al­men­te exis­te un pri­mer bor­ra­dor del ge­no­ma de la hi­gue­ra, di­lu­ci­da­do me­di­ante es­tu­dio de aso­cia­ción (ge-





nome-wide association study, GWS) y secuenciación (whole-genome sequencing, WGS) (Mori et al. 2017). Este trabajo ha permitido identificar un gen involucrado en la determinación de sexo, además de un gran número de SNPs que abren nuevas posibilidades en el estudio de caracteres de interés. Otros autores han continuado este trabajo secuenciando la variedad 'Cuello de Dama Blanco', que ha permitido describir el primer transcriptoma de la higuera e identificar nuevas secuencias de interés (Solorzano-Zambrano et al. 2017).

## 2.5. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN LA MEJORA GENÉTICA.

En España, el panorama varietal está constituido por variedades locales, que son el resultado de la selección natural promovida por las distintas condiciones edafoclimáticas, pero también de una selección artificial por parte de los agricultores. La mayoría de estas variedades locales presentan una distribución muy restringida y su cultivo está poco extendido o casi extinto, mientras que unas pocas son variedades de muy antiguo cultivo que se han extendido dentro y fuera de nuestras fronteras, tomando distintos nombres. En la revisión realizada por López-Corrales et al. (2016) se muestran, por Comunidades Autónomas, las principales variedades locales, resaltando aquellas que localmente se han considerado de mayor importancia.

Los principales recursos fitogenéticos de esta especie se localizan en el Banco de Germoplasma de higuera del CICYTEX-La Orden, en el cual más del 93% son variedades locales procedentes de las distintas CCAA españolas. Estas variedades están adaptadas a condiciones edafoclimáticas muy dispares, con diferentes pluviometrías, tipos de suelos, altitudes, etc., y constituyen un importante reservorio de genes para su utilización en programas de mejora.

En cuanto al material silvestre, algunas especies incluidas en el género *Ficus* L. presentan muchas similitudes con *Ficus carica* L. en distintos aspectos, tales como hábito de crecimiento, forma de la hoja y características del fruto, pudiendo ser polinizadas por el mismo insecto y cruzándose con facilidad: *F. geraniifolia* Miq., *F. palmata* Forssk., *F. persica* Boiss., *F. serrata* L., *F. virgata* Reinw Ex Blume, *F. pseudocarica* Miq. (Condit, 1947; Zukorski, 1950). Algunas especies de *Ficus* han sido ya utilizadas en programas de mejora de higos, tales como *F. palmata* Forssk., *F. pumila* L. y *F. pseudocarica* Miq. (Storey, 1975; IBPGR, 1986).

## 2.6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto RFP2013-00006 del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación

y Ciencia y fondos FEDER. Margarita López Corrales es beneficiaria de un contrato financiado por la Comunidad Autónoma de Extremadura y fondos FEDER (TA13040).

### 3. Caqui

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El caqui (*Diospyros kaki* Thunb.) es un frutal de origen asiático muy apreciado en Oriente y que, en los últimos años, se está difundiendo cada vez más en los cinco continentes. El caqui produce un fruto muy atractivo por color y forma, y es también apreciado por sus propiedades nutraceuticas debido al elevado contenido de taninos y, por ende, a su actividad antioxidante. Se comercializa como producto fresco en dos formas: fruto duro o blando. En el primer caso se trata de frutos pertenecientes a variedades naturalmente no astringentes (poco cultivadas en Europa) o a variedades astringentes cuyos frutos se someten a un tratamiento artificial de eliminación de la astringencia mediante un tratamiento con CO<sub>2</sub>. El fruto de consistencia dura se está afirmando cada vez más, debido a que permite el transporte a largas distancias, presenta menor costo de embalaje, y mejor comportamiento en postcosecha. En oriente también se comercializa como fruto deshidratado. Se trata de una especie muy productiva, de relativamente fácil manejo y que se ha adaptado muy bien al clima mediterráneo.

#### 3.2. CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTOS ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Las principales variables afectadas por el cambio climático son básicamente la temperatura y el régimen pluviométrico. En el caso de la temperatura se ha observado en los últimos años un aumento de la misma. Este incremento afecta a la fenología del caqui y al patrón de maduración de las variedades; además altera el inicio del reposo o latencia invernal, la brotación primaveral y el período de maduración del fruto. La alteración de la fenología debido al cambio climático puede producir pérdidas importantes al alterar la salida de latencia. El aumento de la temperatura, una vez se han cubierto las necesidades de frío, puede inducir la brotación temprana y aumentar la susceptibilidad a heladas tardías. Por ello es necesaria la experimentación de las variedades para determinar la adaptabilidad de las mismas a estas zonas y evitar las pérdidas (Marshall et al., 2011).

También los frutos se ven afectados por las temperaturas altas, así, Sugiura (2010) cita alteraciones de la calidad del fruto en caqui debido al aumento de temperatura, como cambios en la evolución del color del fruto, reducción de la acidez, ablandamiento y mayor susceptibilidad a enfermedades y fisiopatías en postcosecha. También



Woolf y Ferguson, (2000) comprobaron los efectos negativos de las altas temperaturas en campo, en la posterior conservación del caqui y en la calidad del fruto. Mowat et al., (1997) compararon el cultivo de la variedad 'Fuyu' en una zona cálida-media y en una zona cálida subtropical; los resultados revelaron que la temperatura durante la maduración tiene un efecto sobre la composición química de los frutos, acumulándose más contenido en azúcares y menos taninos en las zonas subtropicales.

Las altas temperaturas también están afectando a la emergencia de nuevas plagas y enfermedades. Este cultivo en el área mediterránea no contaba con plagas que le afectarían, más allá de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), sin embargo en los últimos años se han detectado hemípteros de la familia de los pseudocócidos y lepidópteros que están causando daños en el cultivo (Tena et al., 2016). Dado que el cambio climático afecta a la fenología de la planta, el estudio de las plagas y sus enemigos naturales se debe coordinar con el ciclo del cultivo (Bignell et al., 2018). La elaboración de un plan de gestión integrada donde se monitoricen los enemigos naturales adaptados a las condiciones actuales del cultivo se ha convertido en una necesidad (García-Martínez et al., 2018; Pérez-Hedo et al., 2016). Los cambios de temperatura además de afectar a los insectos causantes de plagas y a sus enemigos naturales, también pueden afectar a los polinizadores necesarios para el correcto cuajado del fruto y producir pérdidas. Giannini et al. (2017) mediante modelos matemáticos estimaron la previsión de las pérdidas de producción en Brasil en distintos cultivos por la disminución de la polinización, también el caqui cuyo fruto es partenocárpico puede verse afectado.

En el caso de la pluviometría, la reducción de las precipitaciones está afectando a las zonas de cultivo de caqui mediterráneas, más sensibles al cambio climático. El efecto del estrés hídrico en caqui ha sido estudiado por Buesa et al., (2013); estos autores concluyeron que la especie es muy sensible al déficit hídrico. Kanety et al., (2014) demostraron el incremento en producción y calibre de los frutos al incrementar el riego. Lo que indica que la restricción de recursos hídricos en un escenario de cambio climático producirá pérdidas de producción en caqui. Por otro lado, un manejo inadecuado del riego puede producir fisiopatías en frutos (Ben-Arie et al., 2008). Zhang et al. (2009) observaron que cuando sometieron plantas de caqui a altas temperaturas y alta concentración de CO<sub>2</sub> éstas mostraban mayor contenido en clorofila pero la tolerancia al estrés seguía dependiendo del contenido en agua del suelo.

Sin embargo, en zonas áridas y semiáridas, el manejo del déficit hídrico de forma moderada puede evitar los efectos negativos en el cultivo (Badal et al., 2013). Por ello, el manejo del riego deficitario en coordinación con la fenología del caqui es una nece-

sidad del cultivo en estas zonas (Intrigliolo et al., 2018). Otra consecuencia del déficit de lluvias es la progresiva salinización de suelos y aguas de riego. La salinidad continúa siendo un problema en zonas áridas y semiáridas, la extensión de las mismas debido al cambio climático vaticina un aumento de los problemas de salinidad en los cultivos. Incescu et al. (2014) estudiaron los efectos de la salinidad en dos especies utilizadas como patrón de caqui *D. kaki* y *D. virginiana*. Las plantas de *D. kaki* resultaron más afectadas en crecimiento y en parámetros de intercambio gaseoso que las de *D. virginiana*, demostrando la mayor susceptibilidad a salinidad del *D. kaki*. Este hecho se ha constatado en los últimos años en zonas de expansión del cultivo en España, detectándose daños por toxicidad de sales, como el cloruro en plantas de caqui injertadas sobre *D. lotus* y menor afectación en el caso de *D. virginiana* (de Paz et al., 2016). En este sentido la fertirrigación ante un escenario de cambio climático también debe de adaptarse. Los efectos de las dosis de abonado también han sido estudiados. Choi et al. (2010; 2011) revisaron la fertirrigación en caqui y demostraron que dosis altas tenían una influencia negativa, constatando la disminución de la calidad de los frutos ante un exceso de fertilización nitrogenada.

En este contexto, el material vegetal (variedades y patrones) debe adaptarse a estas nuevas condiciones del binomio clima-suelo, mediante la incorporación de mayor tolerancia a estreses abióticos como el hídrico, la salinidad y el estrés por temperatura. Asimismo, las prácticas de cultivo deben contribuir a una mayor tolerancia del cultivo a los estreses derivados del cambio climático. La gestión de plagas y enfermedades debe incluir el mantenimiento de los enemigos naturales de las nuevas plagas emergentes, y los tratamientos fitosanitarios coordinados con los cambios fenológicos de la planta para mantener la eficiencia de los mismos. Dado que el cambio climático reducirá la disponibilidad de recursos escasos como el agua, también es necesario mantener un manejo sostenible de los mismos, para ello la aplicación eficiente del déficit hídrico será un requisito en las zonas de cultivo semiáridas y la fertilización deberá tener en cuenta las necesidades de la planta y no contribuir a la salinización de suelos y acuíferos.

### 3.3. OBJETIVOS DE MEJORA

El caqui es un frutal de zonas templadas con una adaptación varietal amplia, desde zonas subtropicales como Brasil a zonas más continentales (Norte de Japón, Corea y China) pasando por zonas de clima mediterráneo (Yamada et al., 2012)

Un objetivo común a todos los programas de mejora de variedades de caqui es la obtención de frutos no astringentes de una calidad superior. Es decir frutos de buen

calibre y apariencia, resistencia al rajado del fruto, buena conservación post-cosecha y alta calidad organoléptica (Badenes et al., 2015; Bellini and Giordani, 2005; Yamada et al., 2012). Dentro de la calidad organoléptica, la tendencia actual es destacar además el contenido en principios activos que incrementen el valor nutricional y los beneficios para la salud del consumo de frutas, entre ellas el caqui. En un escenario de cambio climático, las nuevas variedades además de cumplir con estos objetivos deben de adaptarse a los diferentes estreses abióticos, con el fin de mantener la productividad del cultivo en rangos óptimos.

Por otro lado, la obtención de patrones clonales que permitan una mejor adaptación a las condiciones edáficas cambiantes también es un requisito necesario. En la actualidad se utilizan patrones francos de semillas de las especies *D. kaki*, *D. lotus* y *D. virginiana*. El más utilizado es *D. kaki* con la excepción del área mediterránea, cuyos suelos calizos y alto pH no permiten el uso de esta especie y se utilizan semillas de *D. lotus*, sin embargo este patrón ha demostrado ser muy susceptible a la salinidad (de Paz et al., 2016). Además, la falta de precipitaciones en los últimos años ha causado toxicidad por cloruros en plantaciones de caqui en España (de Paz et al., 2016). En suelos salinos, *D. virginiana* es adecuado por su mayor tolerancia a la salinidad, pero presenta otros inconvenientes como el alto vigor, el retraso en la entrada en producción y la emisión de rebrotes. Dado que los problemas de sequía y salinidad se han presentado recientemente, no existen programas de mejora de patrones en los distintos países, solamente se ha iniciado un estudio para seleccionar patrones más tolerantes a la salinidad en el IVIA (Gil-Muñoz et al., 2018).

#### 3.4. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

La poliploidia de la especie *D. kaki*, ha dificultado la obtención de recursos genéticos como mapas genéticos, o el mapa genómico de la especie. Esto ha obligado al uso de marcadores dominantes tipo RAPDs (Badenes et al., 2003; Luo et al., 1995) y AFLPs (Kanzaki et al., 2000; Yonemori et al., 2008) en los primeros estudios genéticos de caqui. Posteriormente, la obtención de marcadores codominantes tipo SSR (Soriano et al., 2006) han permitido estudios genéticos de diversidad (Naval et al., 2010; Park et al., 2010), pero la ploidia no ha permitido el desarrollo de mejora asistida por marcadores.

La mayor parte de los estudios moleculares están dirigidos a la identificación de genes de la ruta de las antocianinas, relacionadas con el carácter astringencia, el objetivo común de todos los programas de mejora. El desarrollo de técnicas de secuenciación de nueva generación (NGS) permite disponer de mayores recursos genéticos para es-

tudiar otros genes de interés; por ejemplo, se dispone de un transcriptoma de caqui (Luo et al., 2014) que aporta secuencias de transcritos de diferentes rutas metabólicas que permiten explorar diferencias de expresión de genes relacionados con estreses.

Por otra parte, existen numerosos genes descritos ligados a estreses abióticos en plantas modelo, pero los estudios en caqui siguen siendo escasos. Wang et al., (2016) clonaron genes relacionados con estrés abiótico (temperatura, salinidad) además de genes de la ruta del ácido salicílico y giberélico a partir de la variedad 'Nantongxiao-fangshi' y analizaron las diferencias de expresión. La expresión del gen DkDREB2C también se estudió en condiciones de estrés por calor.

Hou et al. (2015) estudiaron la expresión diferencial de genes ortólogos de la ruta de las lipoperoxidasas (LOX) clonados en caqui en diversos tejidos. La sobreexpresión del DkLOX3 en plantas transgénicas de *Arabidopsis* demostró una mayor tolerancia a la salinidad y sequía, vía la regulación de ROS (especies reactivas de oxígeno). Estos autores sugieren que este gen está implicado en los procesos de maduración, senescencia e inducción de etileno ante condiciones de estrés, por ello destacan el potencial papel de los genes de esta ruta en la adaptabilidad del caqui a los estreses producidos por el cambio climático.

La publicación del genoma de la especie *D. lotus*, cuya dotación cromosómica es diploide, puede ser la herramienta que permita dar un impulso cualitativo a la identificación de genes de interés para la mejora del caqui en los próximos años (Akagi et al., 2016).

### 3.5. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN LA MEJORA GENÉTICA

El caqui se originó en China, desde donde pasó a Corea y Japón, para luego llegar a California y a Europa. De hecho la mayor parte de las variedades cultivadas derivan del germoplasma nativo o de programas de mejora (selección clonal y cruzamiento) conducidos esencialmente en Japón. En Europa las actividades de mejora se han desarrollado en Italia y, en forma preponderante en los últimos años, en España. Estos se han basado en el empleo de material genético perteneciente a colecciones de germoplasma en su mayoría constituidos por accesiones importadas de Japón, China, Corea y secundariamente de USA y Brasil. Algunas accesiones consideradas de origen local individualizadas en Italia (Kaki Tipo) y en la zona de Valencia (Rojo Brillante) han sido integradas y empleadas en los programas de mejora (Giordani y Nin, 2013; Badenes et al., 2012). En su mayoría estos recursos genéticos son representados por variedades de caqui (*D. kaki* Thunb.) con genoma hexaploide ( $6n = 90$ ), con número de base cromosómico  $X = 15$  y por algunas pocas variedades nonaploides ( $9n = 135$ ) generalmente



infértiles, lo cual implica un esquema de segregación complejo y muy bajas tasas de progenies homocigotas para caracteres recesivos. Entre ellos figura la no astringencia del fruto duro, carácter extremadamente importante en las modernas cadenas de producción. Otro aspecto que limita la mejora mediante hibridación es la expresión del sexo (el caqui es definido como especie polígamo-dioica) ya sea en la fase de elección de parentales (la mayor parte de los mejores cultivares presentan solo flores femeninas y muy pocas variedades diferencian flores masculinas) que en la fase de selección de progenies (la presencia de flores masculinas es un carácter negativo porque impide obtener frutos apirenos por vía partenocárpica muy apreciados a nivel comercial). Unas pocas accesiones de *D. lotus* L. y *D. virginiana* L. (especies empleadas esencialmente como portainjertos del caqui) completan el germoplasma conservado. En referencia a la adaptabilidad climática, el *D. lotus* resiste al rigor invernal y a la sequía, pero resulta susceptible a salinidad y a tumores causados por *Agrobacterium tumefaciens*; *D. virginiana*, en cambio, se adapta mejor a suelos pesados. Por otro lado, *D. kaki* presenta un aparato radicular delicado y *D. rhombifolia* es empleado a nivel experimental para reducir el vigor de la planta (Badenes et al., 2015).

Informaciones sobre la expresión de caracteres fenológicos y morfológicos relacionados con la adaptabilidad climática de las accesiones pertenecientes a colecciones de germoplasma pueden ser adquiridas consultando volúmenes monográficos y bases de datos (Martínez-Calvo et al., 2012; Giordani y Bellini, 1998; Gene Bank Project, NARO, Japón). Estudios dedicados específicamente a “resistencia” a factores ambientales se están llevando a cabo en China, zona de origen del caqui, donde se está caracterizando el germoplasma nativo ya sea silvestre o domesticado (Luo and Wang, 2008).

#### 4. Bibliografía

- Achtak, H., Oukabli, A., Ater, M., Santoni, S., Kjellberg, F., Khadari, B. 2009. Microsatellite markers as reliable tools for fig cultivar identification. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 134: 624–631.
- Aguilera, C. 2012. Libro blanco de los Recursos Fitogenéticos con riesgo de erosión genética de interés para la Agricultura y la Alimentación en Andalucía. Dirección General de la Producción Agrícola. Junta de Andalucía. Sevilla. 204 p.
- Ahmed, S., Compton, S.G., Butlin, R.K. and Gilmartin, P.M. 2009. Wind-borne insects mediate directional pollen transfer between desert fig trees 160 kilometers apart. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106: 20342–20347.

- Akagi, T., Comai, L., Tao, R. and Henry, I.M. 2016. Whole genome sequencing Project in persimmon. VI International Symposium on Persimmon. Valencia, 16-21 octubre.
- Akhud-Zade, I.M. 1981. Radiation mutagenesis in subtropical crops (in Russian, English abstract). L-ya Vses Konf. p0 Prikl. Radiohiol. 1981: 50-51.
- Aljane, F. and Ferchichi, A. 2008. Pomological characteristics of local fig (*Ficus carica*) cultivars in southern Tunisia. Acta Hort. 798: 123–128.
- Badal, E., El-Mageed, T.A., Buesa, I., Guerra, D., Bonet, L. and Intrigliolo, D.S. 2013. Moderate plant water stress reduces fruit drop of “Rojo Brillante” persimmon (*Diospyros kaki*) in a Mediterranean climate. Agr. Water Manage. 119: 154-160.
- Badenes, M.L., Garcés, A., Romero, C., Romero, M., Clavé, J., Rovira, M., Llácer, G. 2003. Genetic diversity of introduced and local Spanish persimmon cultivars revealed by RAPD markers. GenetRes.Crop.Evol. 50: 579–585.
- Badenes, M.L., Naval, M., Martinez-Calvo, J. and Giordani, E. 2012. Material vegetal y mejora genetica. El cultivo del caqui. 3: 57-77. Generalitat Valenciana - IVIA.
- Bellini, E., Giordani, E. 2005. Germplasm and breeding of persimmon in Europe. Acta Hort. 685: 65–75.
- Ben-Arie, R., Zilka, S., Klein, I. and Gamrasni, D. 2008. Persimon and enviroment: soil and water management for high quality fruit production. Advances in Horticultural Science 22: 286-293.
- Berg, C.C. 2003. *Flora malesiana* precursor for the treatment of Moraceae 1: The main subdivision of *Ficus*: The subgenera. Blumea 48: 167-78.
- Bignell, L. Senior and D. 2017 Oag Monitoring and control strategies for mealybug of persimmon in Australia. Acta Horticulturae VI International Symposium on persimmon
- Botti, C., Franck, N., Prat, L. and Ioannidis, D. 2003. The effect of climatic conditions on fresh fig fruit field quality and type of crop. Acta Hort. 605: 37–42.
- Buesa, I., Badal, E., Guerra, D., Ballester, C., Bonet, L. and Intrigliolo, D.S. 2013. Regulated deficit irrigation in persimmon trees (*Diospyros kaki*) cv. ‘Rojo Brillante’. Sci. Hort. 159: 134-142.
- Caliskan, O. and Polat, A.A. 2011. Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica* L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey. Sci. Hort. 128: 473–478.
- Campoy, J.A., Ruiz, D. and Gea, J. 2011. Dormance in temperate fruit trees in a global warming context: a review. Sci. Hort. 130: 357-372.





- Chandra, R., Babu, D.K., Jadhav, V.T. and Teixeira da Silva, J.A. 2010. Origin, history and domestication of pomegranate. In: Chandra, R. (Ed.), Pomegranate. Fruit Veg. Cereal Sci. Biotechnol., vol. 4, Special Issue 2, pp. 1–6.
- Choi, S.T., Kang, S.M., Park, D.S., Hong, K.P., and Rho, C.W. 2011. Combined effects of leaf/fruit ratios and N and K fertigation levels on growth and distribution of nutrients in pot-grown persimmon trees. *Sci. Hort.* 128: 364–368.
- Choi, S.T., Park, D.S., Kang, S.M., and Cho, Y.C., 2010. Effect of fruit-load on the growth, absorption, and partitioning of inorganic nutrients in young ‘Fuyu’ persimmon trees. *Sci. Hort.* 126: 408–12.
- Coelho, L.F.M., Ribeiro, M.C. and Pereira, R.A.S. 2014. Water availability determines the richness and density of fig trees within Brazilian semideciduous forest landscapes. *Acta Oecol.* 57: 109–116.
- Condit, I.J. 1947. The fig. *Chronica Botanica*. pp 25–80. Whaltan. Massachusetts.
- Condit, I.J. 1955. Fig varieties: a monograph. *Hilgardia* 23: 323–538.
- De Paz, J.M., Visconti, F., Tudela, L., Bonet, L., Quiñones, A. and Intrigliolo, D. 2016. Chloride phytotoxicity on persimmon ‘Rojo Brillante’ evidenc from Valencia cropping area. Abstract S4O1. VI International Symposium on Persimmon. October 16–20, Valencia, Spain.
- Drake, B.G. and González-Meler, M.A. 1997. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>? *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 48: 609–639.
- Ebrahimi, S., Sayed-Tabatabaei, B.E. and Sharifnabi, B. 2010. Microsatellite isolation and characterization in pomegranate (*Punica granatum* L.) Iran. *J. Biotechnol.* 8(3): 163–165.
- Ercisli, S., Gadze, J., Agar, G., Yildirim, A. and Hizarci, Y. 2011. Genetic relationships among wild pomegranate (*Punica granatum*) geno-types from Coruh Valley in Turkey. *Genet. Mol. Res.* 10(1): 459– 464.
- Esquinas-Alcázar, J.T. 2005. Protecting crop genetic diversity for food security: political, ethical and technical challenges. *Nat. Rev. Genet.* 6: 946–953.
- Fadavi, A., Barzegar, M. and Azizi, M.H. 2006. Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. *J. Food Compos. Anal.* 19: 676–680.
- Ferrara, G., Giancaspro, A., Mazzeo, A., Giove, S., Matarrese, A., Pacucci, C., Punzi, R., Trani, A., Gambacorta, G., Blanco, A. and Gadaleta, A. 2014. Characterization of pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes collected in Puglia region, Southeastern Italy. *Sci. Hort.* 178: 70–78.

- Flaishman, M., Rodov, V. and Stover, E. 2008a. The Fig: Botany, Horticulture and Breeding. Hort. Rev. 34: 113-196.
- Flaishman, M., Yablovich, Z., Golobovich, S., Salamon, A., Cohen, Y., Perl, A., Yancheva, S.D., Kerem, Z. and Haklay, E. 2008b. Molecular Breeding in Fig (*Ficus carica*) by the Use of Genetic Transformation. Acta Horticultrae 798: 151-158.
- Frison, E.A. and Servinsky, J. 1995. Directory of European Institutions Holding Crop Genetic Resources Collections, Vol 1, 4th Edn. Int. Plant Genet. Resour. Inst.
- Giannini, T.C., Costa, W.F., Imperatriz, V.L., Saravaira, A.M., Biesmeijer, J. and Garibaldi, L.A. 2017. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. PLoS ONE 12(8): e0182274.
- Giordani E., Bellini E. 1998. The European Minor Fruit Tree Species Database. <http://www.ueresgen29.unifi.it/netdbase/db1.htm>.
- Giordani E. and Nin S. 2013. Evolution and challenges of persimmon production in Italy after one hundred years of cultivation. In: V International Persimmon Symposium, ISHS, vol. 996: 29-42.
- González-Rodríguez, A.M. and Peters, J. 2010. Strategies of leaf expansion in *Ficus carica* under semiarid conditions. Plant Biology 12: 469-474
- Gozlekci, S. 2011. Pomological traits of fig (*Ficus carica* L.) genotypes collected in the west Mediterranean region in Turkey. J. Anim. Plant Sci. 21: 646-652.
- Guzmán, J.R. 2008. Panorama de la agricultura ante el desafío energético y el cambio climático. Agricultura 197: 232-241.
- Harrison, R.D. 2000. Repercussions of El Niño: drought causes extinction and the breakdown of mutualism in Borneo. Proc R Soc B: Biol. Sci. 267: 911-915.
- Hasnaoui, N., Buonamici, A., Sebastiani, F., Mars, M., Trifi, M. and Vendramin, G.G. 2010. Development and characterization of SSR markers for pomegranate (*Punica granatum* L.) using an enriched library. Conserv. Genet. Resour. 2: 283-285.
- Hasnaoui, N., Buonamici, A., Sebastiani, F., Mars, M., Zhang, D. and Vendramin, G. 2012. Molecular genetic diversity of *Punica granatum* L. (pomegranate) as revealed by microsatellite DNA markers (SSR). Gene 493: 105-112.
- Hogan, K.P., Whitehead, D., Kallaralkal, J., Buwalda, J.G., Meekings, J., Rogers, G.N.D. 1996. Photosynthetic activity of leaves of *Pinus radiata* and *Notofagus fusca* after 1 year of growth at elevated CO<sub>2</sub>. Aust J Plant Physiol 23: 623-630.



- Hou, Y., Meng, K., Han, Y., Ban, Q., Wang, B., Suo, J., Lv-Rao J. 2015. The persimmon 9-lipoxygenase gene DKLOX3 plays positive roles in both promoting senescence and enhancing tolerance to abiotic stress. *Front Plant Sci.* 6: 1073.
- IBPGR. 1986. *Ficus carica* L.In; Genetic Resources in tropical and sub-tropical fruits and nuts: 63-69.
- Idso, S.B., Kimball, B.A. and Hendrix, D.L. 1996. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on chlorophyll and nitrogen concentrations on sour orange tree leaves. *Environ Exp Bot* 36: 89-96.
- Incescu, M., Cimen, B., Yesiloglu, T. and Yilmaz. 2014. Growth and photosynthetic response of two persimmon rootstocks (*Diospyros kaki* and *D. virginiana*) under different salinity levels. *Not. Bot. Horti. Agrobi.* 42 (2): 386-391.
- Intrigliolo, D.S., de Paz, J.M., Ballester, C. and Bonet, L. 2018. Quantifying persimmon tree responses to water and nutrients for designing efficient and sustainable fertirrigation. *Acta Horticulturae* (in press) VI International Symposium on Persimmon.
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change). 2017. Climate change 2017: Synthesis report. Summary for policymakers.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assesment report of the intergovernmental panel on climate change. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Avery, K.B., Tignor, M. and H.M. Miller, (eds) Cambridge University Press. Cambridge.
- IPGRI. 2001. Regional report CWANA 1999–2000. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, pp. 20–28.
- Kanety, T., Naor, A., Gips, A., Dicken, U., Lemcoff, J.H. and Cohen, S. 2014. Irrigation influences on growth, yield, and water use of persimmon trees. *Irrigation Sci.* 32(1): 1-13.
- Kanzaki, S., Yonemori, K., Sato, A., Yamada, M., and Sugiura, A. 2000. Analysis of the genetic relationships among pollination-constant and non-astringent (PCNA) cultivars of persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) from Japan and China using amplified fragment length polymorphism (AFLP). *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 69: 665–670.
- Kjellberg, F., Doumesche, B. and Bronstein, J.L. 1988. Longevity of a fig wasp (*Blastophaga psenes*). *Proc. K. Ned. Akad. Wet. C* 91: 117–122.
- Kjellberg, F. Suleman, N., Raja, S., Tayou, A. and Hossaert-McKey, M. 2014. Some pollinators are more equal than others: Factors influencing pollen loads and seed set capacity of two actively and passively pollinating fig wasps. *Acta Oecol.* 57: 73–79.

- Kjellberg F. and Valdeyron G. 1990. Species-specific pollination: a help or a limit to range extention? In *Biological invasions in Europe and the mediterranean basin* (ed di Castri F, Hansen AJ). Dr. W. Junk publishers. pp 371–378.
- Krapp, A., Hoffman, B., Schafer, C., LaMorte, R.L., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Wechsung, F. and Kartscjhall, T. 1993. Regulation of the expression of *rbcS* and other photosyntetic genes by carbohydrates: a mechanism for the “sink” regulation of photosynthesis? *Plant. J.* 3: 817-828.
- Kuden, A.B. and Tanriver, E. 1997. Plant genetics resources and selection studies on figs in the east Mediterranean and south east Anatolia regions. *Acta Hort.* 408: 49-54.
- Kumar, L.S. 1999. DNA markers in plant improvement. *Biotechnol. Adv.* 17: 143–183.
- La Rue, J.H. 1980. Growing pomegranates in California. UC Fruit & Nut Research Information center.
- Levin, G.M. 2006. *Pomegranate Roads: A Soviet Botanist’s Exile from Eden*, 1st Edn. Floreant Press, Forestville, California, pp. 15–183.
- Lewis, J.D., Wang, X.Z., Griffin, K.L. and Tissue, D.T. 2002. Effects of age and ontogeny on photosyntetic responses of a determinate annual plant to elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *Plant Cell Enviro.* 25: 359-368.
- López-Corrales, M., Pérez-Gragera, F. and Balas, F. 2016. Las variedades locales en la mejora genética de plantas. *Higuera.* 341- 358. ISBN: 978-84-457-3395-0. Edita: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Luo, C. Zhang, Q. and Luo, Z. 2014. Genome-wide transcriptome analysis of Chinese pollination-constant nonastringent persimmon fruit treated with ethanol. *BMC Genomics* 15: 112.
- Luo, Z. and Wang, R. 2008. Persimmon in China: Domestication and traditional utilizations of genetic resources. *Advances in Horticultural Science* (22)4: 239-243.
- Luo, Z.R., Yonemori, K. and Sugiura, A. 1995. Evaluation of RAPD analysis for cultivar identification of persimmons. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 64: 535–541.
- Mars, M. 1994. La culture du grenadier (*Punica granatum* L.) et du figuier (*Ficus carica* L.) en Tunisia. In: *First meeting CIHEAM coop. Res. Network on underutilized Fruit Trees*, Zaragoza, Spain, pp. 76–83.
- Mars, M. 2000. Pomegranate plant material: genetic resources and breeding, a review. *Opt. Mediterr. Ser. A Semin. Mediterr.* 42: 55–62.
- Marshall, D., Edwards, N., Spiers, J.M. and Stringer, S.J. 2011. Performance of Persimmon (*Diospyros kaki*) Cultivars in Southern Mississippi. *Int. J. Fruit Sci.* 11 (4): 386-392.

- Martínez-Calvo, J., Badenes, M.L. and Llácer, G. 2012. Descripción de variedades de caqui del banco de germoplasma del IVIA. Monografías INIA. Serie Agrícola, n°: 28. 78 pp. ISBN: 978-84-7498-552-8.
- Melgarejo, P. 1993. Selección y tipificación varietal de granado (*Punica granatum* L.). Universidad Politécnica de Valencia.
- Melgarejo, P., Martínez, J.J., Hernández, F., Martínez, R., Legua, P., Oncina, R. and Martínez-Murcia, A. 2009. Cultivar identification using 18S- 28S rDNA intergenic spacer-RFLP in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Sci. Hortic.* 120: 500-503.
- Melgarejo, P. and Salazar, D.M. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. AMV. Ediciones y Mundi-Prensa. Madrid.
- Metwali, E.M.R., Soliman, H.I.A., Howladar, S.M., Fuller, M.P. and Al-Zahrani, H.S. 2016. Appraisal of in vitro drought stress among three different cultivars of fig (*Ficus carica* L.) using RAPD and ISSR markers. *Plant Omics. Journal.* 9(1): 1-11.
- Minguez-Tudela, M.I., Ruiz, A. and Estrada, A. 2005. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Impacto sobre el sector agrario. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. Spain. pp 437-468.
- Mitrofanova, I.V., Mitrofanova, O.V., Lesnikova-Sedoshenko, N.P., Chelombit, S.V., Shishkina, E.L. and Chirkov, S.N. 2016. Phytosanitary status of *Ficus carica* collection orchards in Nikita Botanical Gardens and biotechnology of fig plants regeneration. *Acta Horticulturae* 1139: 303- 309.
- Mori, K., Shirasawa, K., Nogata, H., Hirata, C., Tashiro, K., Habu, T., Kim, S., Himeno, S., Kuhara, S. and Ikegami, H. 2017. Identification of RAN1 orthologue associated with sex determination through whole genome sequencing analysis in fig (*Ficus carica* L.) *Sci. Rep.* 7: 411-24
- Moslemi, M., Zahravi, M. and Khaniki, G.B. 2010. Genetic diversity and population genetic structure of pomegranate (*Punica granatum* L.) in Iran using AFLP markers. *Sci. Hortic.* 126: 441-447.
- Mowat, A.D., George, A.P. and Collins, R.J. 1997. Macro-climatic effects on fruit development and maturity of non-astringent persimmon (*Diospyros kaki* L. cv Fuyu) *Acta Horticulturae* 436: 195-202.
- Narzary, D., Mahar, K.S., Rana, T.S. and Ranade, S.A. 2009. Analysis of genetic diversity among wild pomegranate in Western Himalayas using PCR methods. *Sci. Hortic.* 121: 237-242.

- Naval, M.M. Zuriaga, E., Pecchioli, S., Llacer, G., Giordani, E. and Badenes M.L. 2010. Analysis of genetic diversity among persimmon cultivars using microsatellite markers. *Tree Genet. Genome* 6: 677-687.
- Olmo-Vega, A., García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Simón, I., Lidón, V., Nieves, M. and Martínez-Nicolás, J.J. 2017. Physiological responses of three pomegranate cultivars under flooded conditions. *Sci. Hortic.* 224: 171-179.
- Park, Y.H., Hwang, J.H., Parl, Y.O., Kim, S.C., Lee, Y.J., Kang, J.S., Choi, Y.W. and Son, B.G. 2010. Evaluation of genetic diversity among persimmon cultivars using microsatellite markers. *Korean Journal Life Science* 20: 632-638.
- Parvaresh, M., Talebi, M., Ebrahim, B. and Tabatabaei, S. 2012. Molecular diversity and genetic relationship of pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes using microsatellite markers. *Sci. Hortic.* 138: 244-252.
- Pereira, C., Serradilla, M.J., Martín, A., Villalobos, M.C., Pérez-Gragera, F. and López-Corrales, M. 2015. Agronomic behaviour and quality of six cultivars for fresh consumption. *Sci. Hort.* 185: 121-128.
- Pereira, C., Serradilla, M.J., Pérez-Gragera, F., Martín, A., Villalobos, M.C., López-Corrales, M. 2017. Evaluation of agronomic and fruit quality traits of fig tree varieties (*Ficus carica* L.) grown in Mediterranean conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*. Vol 15. Nº3 DOI: 10.5424/sjar/2017153-10403.
- Pérez-Hedo, M., Catalán, J., García-Martínez, O., Beitia, F. and Urbaneja, A. 2016. Gestión Integrada de Plagas de Caqui. (<http://gipcaqui.ivia.es>).
- Pirseyyedi, S.M., Valizadehghan, S., Mardi, M., Ghaffari, M.R., Mahmoodi, P., Zahravi, M., Zeinalabedini, M. and Nekoui, S.M.K. 2010. Isolation and characterization of novel microsatellite markers in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Int. J. Mol. Sci.* 11: 2010-2016.
- Rana, J.C., Pradheep, K. and Verma, V.D. 2007. Naturally occurring wild relatives of temperate fruits in western Himalayan region of India: an analysis. *Biodivers. Conserv.* 16: 3963-3991.
- Ranade, R.A., Rana, T.S. and Narzary, D. 2009. SPAR profiles and genetic diversity amongst pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 15(1): 61-70.
- Scheben, A., Yuan, Y. and Edwards, D. 2016. Advances in genomics for adapting crops to climate change. *Curr. Plan. Bio.* 6: 2-10.
- Sefc, K.M., Pejic, I., Maletic, E., Thomas, M.R. and Lefort, F. 2009. Microsatellite markers for grapevine: tools for cultivar identification and pedigree reconstruction. In:

- Roubelakis- Angelakis, K.A. (Ed.), Grapevine Molecular Physiology & Biotechnology. Kluwer Publishers, Amsterdam, pp. 565–596.
- Sharkey, T.D. 1985 O<sub>2</sub>-insensitive photosynthesis in C3 plants: Its occurrence and a possible explanation. *Plant Physiol.* 78: 71-75.
- Shekafandeh, A. and Hojati, S. 2012. *In vitro* drought effects on morphological and physiological indices of two fig (*Ficus carica* L.) cultivar. *Advances in Horticultural Science.* 26(3/4): 131-137.
- Simsek, M. 2009. Fruit performances of the selected fig types in Turkey. *Afr. J. Agric. Res.* 4: 1260–1267.
- Solorzano-Zambrano, L., Usai, G., Vangelisti, A., Mascagni, F., Giordani, T., Bernardi, R., Cavallini, A., Gucci, R., Caruso, G., D'Onofrio, C., Quartacci, M.F., Picciarelli, P., Conti, B., Lucchi, A. and Natali, L. 2017 Cultivar-specific transcriptome prediction and annotation in *Ficus carica* L. *Genomics Data.* 13: 64–66.
- Soriano, J.M., Pecchioli, S., Romero, C., Vilanova, S., Llácer, G. and Badenes, M.L. 2006. Development of microsatellite markers in polyploid persimmon (*Diospyros kaki* L) from an enriched genomic library. *Mol. Ecol. Notes* 6: 368–370.
- Soriano, J.M., Zuriaga, E., Rubio, P., Llacer, G., Infante, R. and Badenes, M.L. 2011. Development and characterization of microsatellite markers in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Mol. Breed.* 27: 119–128.
- Still, D.W. 2006. Pomegranates: a botanical prospective. In: Seeram, N.P., Schullman, R.N., Heber, D. (Eds.), *Pomegranates: Ancient Roots to Modern Medicine*. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, pp. 199–209.
- Stitt, M. and Krapp, A. 1999. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition: the physiological and molecular background. *Plant Cell Environ.* 22: 583-621.
- Storey, W.B. 1975. *Figs*. *Advances in fruit breeding*. Ed. by Janick and J. Moore 568–589. Purdue University Press.
- Sugiura, T. 2010. Characteristics of responses of fruit trees to climate changes in Japan. *Acta Hort.* 872: 85-88.
- Teixeira, J.A., Singh, T., Narzary, D., Verma, N., Tarachand, D. and Ranade, S.A. 2013. Pomegranate biology and biotechnology: A review. *Sci. Hort.* 160: 85-107.
- Tena, A., García-Bellón, J. and Urbaneja, A. 2016. Native and naturalized mealybug parasitoids fail to control the new citrus mealybug pest *Delottococcus aberiae*. *Journal of Pest Science*, doi:10.1007/s10340-016-0819-7.

- Varshney, R.K., Graner, A. and Sorrells, M.E. 2005. Genic microsatellite markers in plants: features and applications. *Trends. Biotechnol.* 23: 48–55.
- Verma, N., Mohanty, A., and Lal, A. 2010. Pomegranate genetic resources and germplasm conservation: a review. In: Chandra, R. (Ed.), *Pomegranate. Fruit Veg. Cereal Sci. Biotechnol.* Vol 4, Special Issue 2, pp. 120–125.
- Wang, P.H., Xiong, A.S., Gao, Z.H., Yu, X.Y., Li, M., Hou, Y.J., Sun, C. and Qu, S.C. 2016. Abstract S205.
- Woolf, A.B. and Fergurson, I.B. 2000. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. *Postharvest Biology and Technology* 21 (1) 7-20
- Yamada, M., Giordani, E. and Yonemori, K. 2012. Persimmon. En M.L. Badenes y D.H. Byrne (Eds.), *Fruit Breeding*, vol. 8 (pp. 663–693). New York: Springer.
- Yonemori, K., Honsho, C., Kitajima, A., Aradhya, M., Giordani, E., Bellini, E. and Parfitt, D.E. 2008. Relationship of European persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) cultivars to Asian cultivars, characterized using AFLPs. *Gen. Res. Crop. Evol.* 55: 81-89.
- Yun, K., Hsiao, J., Jung, M.P., Choi, I.T., Glenn, D.M., Shim, K.M., and Kim, H.H. 2017. Can a multi-model ensemble improve phenology predictions for climate change studies? *Ecol. Model.* 362: 54-64.
- Zamani, Z., Sarkhosh, A., Fatahi, R. and Ebadi, A. 2007. Genetic relationships among pomegranate genotypes studied by fruit characteristics and RAPD markers. *J. Horti. Sci. Biotechnol.* 82: 11–18.
- Zamani, Z., Zarei, A. and Fatahi, R. 2010. Characterization of progenies derived from pollination of pomegranate cv. Malase-Tourshe- Saveh using fruit traits and RAPD molecular marker. *Sci. Hortic.* 124: 67–73.
- Zhang, D., Mischke, S., Johnson, E.S., Philips-Mora, W. and Meinhardt, L. 2009. Molecular characterization of an international cacao collection using microsatellite markers. *Tree Genet. Genomes.* 5: 1–10.
- Zhang, Z.B., Shi, Z.A., Song, L.Y., Wang, Y., Zhang, S.Y. and Zhang, J.N. 2009. Effects of climate change on photosynthesis of *Diospyros kaki* under different soil moisture condition. "<https://www.scopus.com/sourceid/22594?origin=recordpage>" \o "Go to the information page for this source".20: 2129-2134.
- Zukorskiy, P.M. 1950. *Ficus*. In: *Cultivated plants and their wild relatives*. State Publishing House Soviet Science. Moscow. pp 58-59.