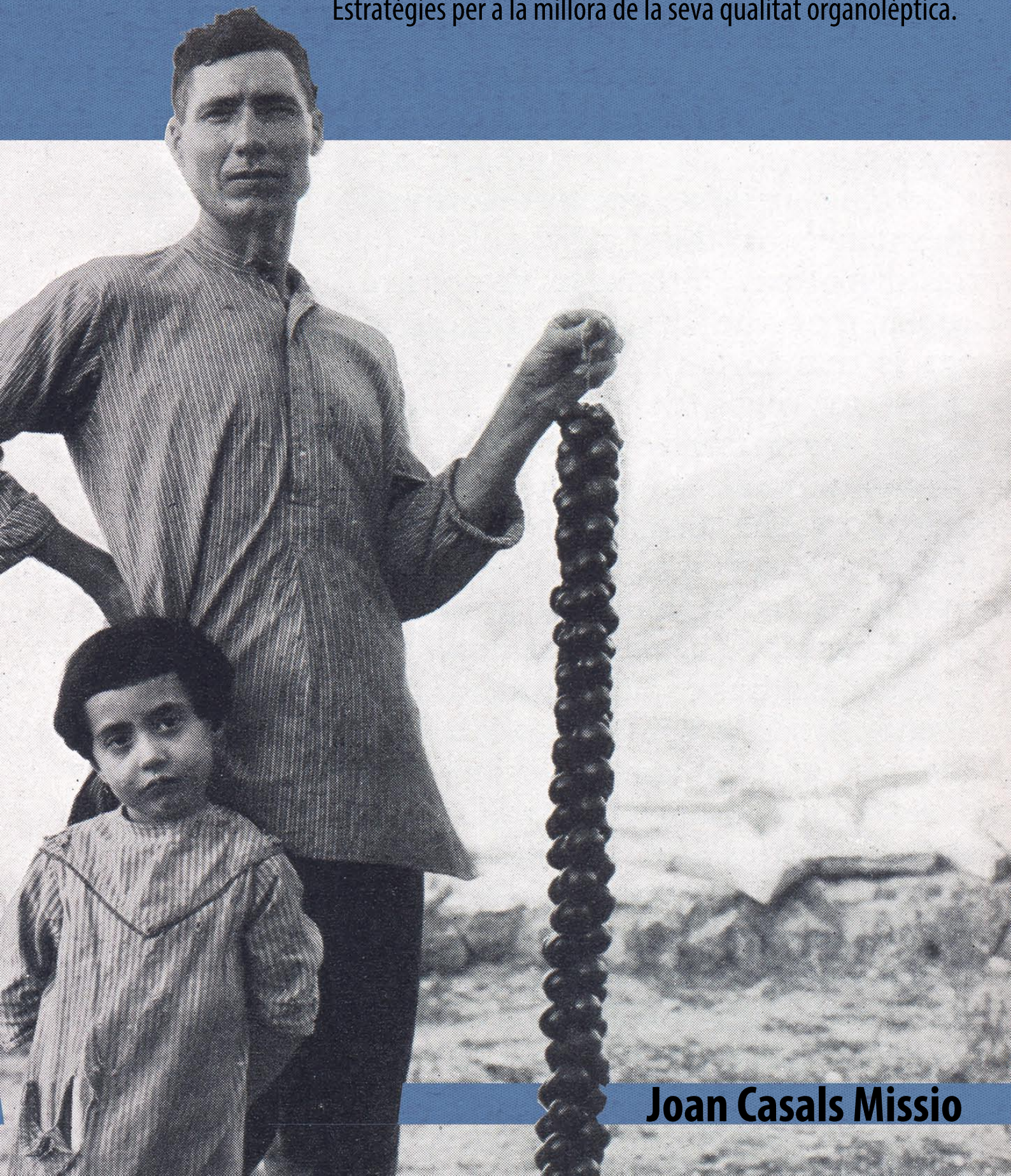


**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

Filogènia i variabilitat genètica de les varietats tradicionals de tomàquet  
(*Solanum lycopersicum* L.) *Montserrat/Pera de Girona* i *Penjar*.  
Estratègies per a la millora de la seva qualitat organolèptica.



**Joan Casals Missio**

**Joan Casals Missio**

Tesi doctoral de la Universitat Politècnica de Catalunya  
Castelldefels, maig del 2012  
joancasals.argila@gmail.com



*Il·lustració de la portada*

Productor de tomàquet de *Penjar* de Banyalbufar (Illes Balears). Fotografia realitzada l'any 1927 per David Fairchild. Publicada a Fairchild (1927) *The tomato terraces of Banalbufar - An agricultural monopoly built on a single variety of tomato. Journal of Heredity* 18:245-251. Reproduït amb el permís de Oxford University Press (nº llicència: 2796971038563).

*Disseny gràfic*

Isabel Vinardell Fleck

*Correcció ortogràfica*

Núria Basté Ollé



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**

*Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia*  
Programa de Doctorat en Tecnologia Agroalimentària i Biotecnologia



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA**  
BARCELONATECH

**Filogènia i variabilitat genètica de les varietats tradicionals de tomàquet (*Solanum lycopersicum* L.) Montserrat/Pera de Girona i Penjar. Estratègies per a la millora de la seva qualitat organolèptica.**

*Autor*

**Joan Casals Missio**

Memòria presentada per optar al títol de  
DOCTOR PER LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Castelldefels, maig de 2012

Director

**Francesc Casañas Artigas (UPC-DEAB)**

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya

Co-director

**Jaime Cebolla Cornejo (UPV-COMAV)**

Departamento de Biotecnología, Universidad Politécnica de Valencia





## Acta de grau de doctor/doctora

Curs acadèmic:

Nom i cognoms

Joan Casals Missio

DNI / NIE / Passaport

47726647Z

Programa de doctorat

Doctorat en Tecnologia Agroalimentària i Biotecnologia

Unitat estructural responsable del programa

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya

## Resolució del Tribunal

Reunit el Tribunal designat a l'efecte, el doctorand / la doctoranda exposa el tema de la seva tesi doctoral titulada Filogènia i variabilitat genètica de les varietats tradicionals de tomàquet (Solanum lycopersicum L.) Montserrat/Pera de Girona i Penjar.

Estratègies per a la millora de la seva qualitat organolèptica.

Acabada la lectura i després de donar resposta a les qüestions formulades pels membres titulars del tribunal, aquest atorga la qualificació:

APTA/E     NO APTA/E

(Nom, cognoms i signatura)		(Nom, cognoms i signatura)	
President/a		Secretari/ària	
(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
Vocal	Vocal	Vocal	Vocal

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El resultat de l'escrutini dels vots emesos pels membres titulars del tribunal, efectuat per l'Oficina de Doctorat, a instància de la Comissió de Doctorat de la UPC, atorga la MENCIÓ CUM LAUDE:

SI     NO

(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
Vicerecтора de Recerca Presidenta de la Comissió de Doctorat	Cap de l'Oficina de Doctorat Secretària de la Comissió de Doctorat	Secretari/ària del tribunal (o membre del tribunal de la UPC)

Barcelona, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## Diligència "Internacional del títol de doctor o doctora"

Com a secretari/ària del tribunal faig constar que la tesi s'ha defensat en part, i com a mínim pel que fa al resum i les conclusions, en una de les llengües habituals per a la comunicació científica en el seu camp de coneixement i diferent de les que són oficials a Espanya. Aquesta norma no s'aplica si l'estada, els informes i els experts externs provenen d'un país de parla hispana.

(Nom, cognoms i signatura)

Secretari/ària del tribunal





*“En habiendo tomatillo, todos son buenos cocineros”*

Antonio Salsete (s.XVII) *El cocinero religioso instruido en aprestar las comidas de Carne, Pescado, Yervas y Potages a su comunidad. Op. cit. Valles-Rojo (2007).*



**A tu, *Isabelle*...**



## Agraïments

Als meus avis, el Giovanni i la Marie; al Francesc Casañas i el Jaime Cebolla, directors que han estimulat des de principi aquesta tesi; al Lluís Bosch, moltes gràcies per la teva empena i les grans hores que em vas dedicar; al Fernando Nuez, la Laura Pascual i el Joaquim Cañizares, per la seva dedicació en l'elaboració dels articles; a la Isabel Vinardell, amb tu tot s'ha fet més elegant; a la Núria Basté, que ha corregit minuciosament el text; als meus pares, sempre carinyosament incondicionals; a la Isabel i el Sergi, i l'Ivan i la Nairi; a la Jacque i la Marie Thérèse; als que estan a França, sempre propers, la Lisette, el Roméo, l'Audrey i l'Étienne i la Laurence, la Claudine i el Roland i l'Aurélié; als millors amics, el Borja Camí, l'Enric Pérez, el Nir Lipovetsky i l'Arnaud Amat; als companys de la Fundació Miquel Agustí, el Daniel Fenero, el Joan Simó, l'Ana Rivera, el Marçal Plans, l'Aurora Rull, la Roser Romero, l'Antoni Almirall, el Nando García, el Josep Sabaté i la Carme Formigon; als participants i als que han participat en el panel de tast de tomàquet, gràcies!; al Paco Benavente i la Utxi Macaya, que em van fer gaudir de moltes hores de feina; als agricultors i tècnics que han col·laborat en les proves de camp, el Marius Torrentó, el Joaquim Pedemonte, el Joan Llavina, el Joan i la Cristina Téllez, el Jordi Ariño i la Montse Martí, el Ramón Ribot, el Jaume Bros, el Nikolai Aitov i els Gabriel Monte i Manolo Roperó; als companys de TFC que han collit i pesat delicadament centenars de tomàquets, la Cristina Maján, la Raquel Bau, l'Hernan Mateo i el Gerard Munné; al teu somriure perdut Esther (!). I als més propers, els més antics, els més nous, els que sempre t'acompanyen... la família Crusat Basté.... la Jimena Azula, la Marie Fétiqueau, el Martí Bou, el Josep Torelló, la Júlia Volpe i la seva preciosa Gaia... a l'equip tècnic d'Unió de Pagesos, la Maite Pujol, la Trini Palou, la Marga Hereu, el Joel Esteban, l'Anna López, la Doris Casas, el Carlos Celma, el Roger Claveguera, la Joana Rull, la Roser Costa, la Maria Carreras, el David Muñoz, l'Eva Morera... als agricultors del Baix Llobregat, el Cristhian Pin, l'Albert Lacunza, l'Anna Gómez, el Francesc Segura, l'Andreu Vila, el Roc Mas i la Laia Pont (i el Bernat i el Janot)... a una magnífica amiga, l'Elena Zendera... als singulars del centre, la Carmen i l'Alejandra Lemus, la Janina Riera, les Molina... als amics de l'ESAB que han compartit riures i fatigues, la Graciela Alfonsina, la Maria Julià, l'Olga Gener, la Cristina de Cózar, la Mireia Ribet, la Clara Almansa, l'Ingrid Masaló, el Tito, la Marga López i l'Òscar Huerta, la Sònia Duarte, el Pablo Sánchez, el Jordi Llop i el Llorens, la Montse Gallart, la Cristina González, la Sheila Benítez, l'Ari Giné i la Marta Almazán, la Pilar Berenguer, l'Àngela Sarro, la Montserrat Pujolà.... a les (i els) que sempre somriuen quan et passeges per l'ESAB, l'Enriqueta Bellido, la Librada Navarro, la Montse Dalid, la Cristina Pintado, la Carme Torres, la Montse Tamayo, el Carlos Serrano, la M<sup>a</sup> Àngels Aznar, l'Encarna Carabantes i el Francisco Sutil.... i a altres terribles que han passat per l'ESAB, l'Agnès i el Jose, l'Òscar i la Mimi... als col·legues de Palafolls, l'Elisa i l'Oriol, la Sílvia i la Mireia... als amics de Ribermúsica, al Josep M<sup>a</sup> Aragay... a tots vosaltres que heu estat tants anys escoltant com m'escapava per treballar en aquesta tesi.



# ÍNDEX

<b>Agraïments</b>	xí
<b>Resum</b>	xv
<b>Resumen</b>	xvi
<b>Abstract</b>	xvii
<b>Capítol 1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>1</b>
<hr/>	
<b>Primer part. L'emergència de nous atributs de qualitat dels productes agrícoles</b>	<b>1</b>
1.1. L'agricultura en un nou context	3
1.2. La qualitat dels productes agrícoles	5
1.3. Efectes de la Revolució Verda sobre la qualitat dels productes agrícoles	6
1.3.1. Preu i comportament agronòmic	6
1.3.2. Qualitat organolèptica i nutricional	9
1.4. La revaloració de les varietats tradicionals: una estratègia per les agricultures locals	11
<b>Segona part. Història del tomàquet i evolució de la qualitat organolèptica</b>	<b>13</b>
1.5. El tomàquet, una espècie model	15
1.6. La qualitat organolèptica en el tomàquet	17
1.7. "How the tomato lost its taste"	18
1.8. Filogènia de la qualitat organolèptica: de la domesticació a la millora genètica moderna	19
1.8.1. La domesticació i els seus efectes secundaris	19
1.8.2. Diversificació: l'origen de les varietats tradicionals	23
1.8.3. La millora genètica moderna	27
1.9. Incrementar la qualitat organolèptica: estratègies de millora	31
1.10. Les varietats tradicionals de tomàquet a la conca mediterrània: tomàquet de Montserrat, Pera de Girona i Penjar, casos emblemàtics de Catalunya	32
1.11. Objectius	41
1.11.1. Objectiu general	41
1.11.2. Objectius específics	41
Referències bibliogràfiques	43
<b>Capítol 2. PRIMER ARTICLE</b>	<b>55</b>
<hr/>	
<i>The risks of success in quality vegetable markets: possible genetic erosion in Marmande tomatoes (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) and consumer dissatisfaction</i>	
<b>Capítol 3. SEGON ARTICLE</b>	<b>65</b>
<hr/>	
<i>Genetic basis of long shelf life and variability into Penjar tomato</i>	
<b>Capítol 4. TERCER ARTICLE</b>	<b>79</b>
<hr/>	
<i>Montgrí, a cultivar within the Montserrat tomato type</i>	
<b>Capítol 5. QUART ARTICLE</b>	<b>83</b>
<hr/>	
<i>Long-term postharvest aroma evolution of tomatoes with the alcobaça (alc) mutation</i>	

<b>Capítol 6. DISCUSSIÓ GENERAL</b>	<b>97</b>
6.1. Estructura de les poblacions cultivades: diversitat agromorfològica i sensorial	99
6.2. Estructura de les poblacions cultivades: diversitat de fons genètic	102
6.3. Base genètica de la conservació en el tomàquet de <i>Penjar</i>	103
6.4. Desenvolupament d'estratègies per promoure la qualitat organolèptica en les varietats tradicionals de tomàquet	105
6.4.1. <i>Obtenció d'una línia millorada per qualitat organolèptica en el tomàquet Pera de Girona</i>	105
6.4.2. <i>Efecte de la postcollita sobre la qualitat organolèptica del tomàquet de Penjar i selecció de línies d'elevada aroma</i>	107
6.5. Observacions finals	110
Referències bibliogràfiques	111
<b>Capítol 7. CONCLUSIONS</b>	<b>115</b>
<b>Llista de figures</b>	119
<b>Llista de quadres de text</b>	121
<b>Llista de taules</b>	122





# Capítol 1.

## Introducció

*Primera part*

**L'emergència de nous atributs de qualitat dels productes agrícoles**





# 1. INTRODUCCIÓ

## Primera part. L'emergència de nous atributs de qualitat dels productes agrícoles

### 1.1. L'agricultura en un nou context

Un nou paradigma agrari basat en la distinció dels productes agraris s'està gestant a Europa. Un model on la qualitat (organolèptica i nutritiva, però també referent als mètodes de producció i a l'origen) esdevé protagonista essencial i un actiu a l'hora d'establir el valor final de les produccions agràries. Aquest nou model pretén corregir les deficiències d'un model *productivista* instaurat des de l'adveniment de la Revolució Verda a mitjan segle XX, i s'erigeix a partir de l'aparició continuada d'alternatives als sistemes de producció i comercialització actuals. En són indicadors l'expansió continua de l'agricultura ecològica i la producció integrada, el desenvolupament de segells de qualitat associats a determinades produccions locals<sup>1</sup>, el creixement dels circuits de comercialització de proximitat (Renting *et al.*, 2003) o la revaloració de l'agrobiodiversitat (Brush i Meng, 1998) i de les gastronomies locals. Es tracta d'un nou enfocament que pretén aglutinar els factors econòmics, socials, científics, tecnològics i mediambientals visant una producció agrària distingida per la seva qualitat (intrínseca i extrínseca).

Existeixen múltiples forces motrius que han conduït a aquest canvi. En primer lloc, els avenços en agronomia des de la Revolució Verda han provocat la transformació més important de l'agricultura en tota la història (Quadre 1). Les noves tecnologies agràries (principalment varietats millorades, fitosanitaris i fertilitzants de síntesi i ús generalitzat de maquinària en el treball del sòl) han permès un increment de la producció agrícola sense precedents: en el període 1961-2009 s'ha passat d'una producció de 2,05 bilions de tones a 5,53 bilions de tones<sup>2</sup> (FAOSTAT, 2011) (Figura 1.1). Tal com reflexiona Khush (2001) hem tardat 10.000 anys en arribar a un nivell de producció de 2 bilions de tones i només 50 anys en multiplicar-lo per més de 2. En aquest context, tot i el fort creixement demogràfic que hi ha hagut en el mateix període, segons la Royal Society (2009) la producció d'aliments per càpita és un 27% més elevada en comparació amb l'any 1960. Així doncs ens trobem amb una societat on l'accés a l'alimentació ha deixat de ser un problema, específicament en els països desenvolupats.

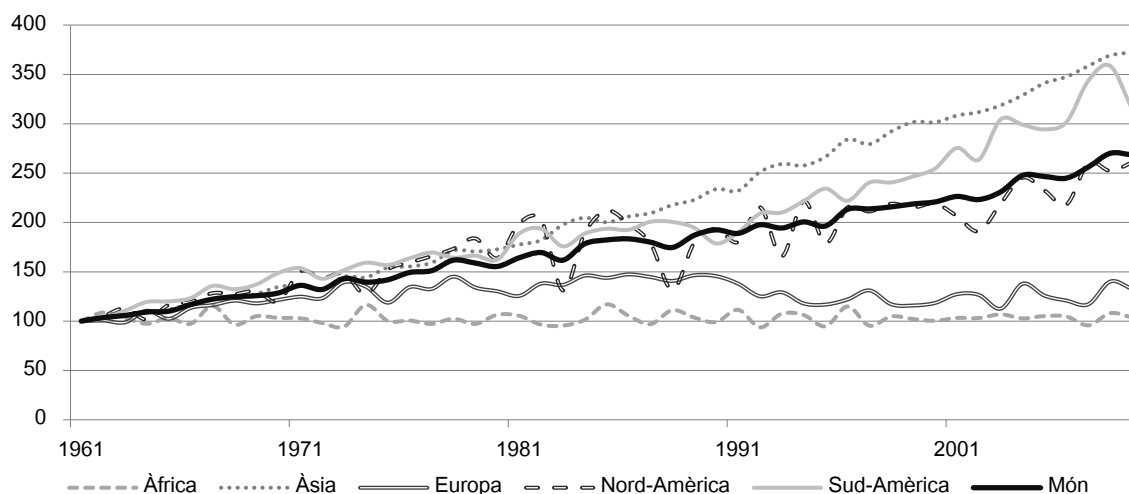
D'altra banda, la globalització dels mercats ha canviat profundament el sistema agroalimentari, *reubicant* les produccions agràries en una economia d'escala dominada per la competitivitat dels mercats exteriors. La internacionalització de la competència fa que petites reduccions en els costos de producció assolits en determinades àrees del món siguin ràpidament transmèses a la resta d'agrosistemes del planeta. Aquesta dinàmica ha comportat una pèrdua de rendibilitat de determinades explotacions agràries en territori europeu, i en conseqüència una disminució de la superfície cultivada i del número d'explotacions actives. Segons Paül (2006) en el període 1973-2007 hauria desaparegut el 19,3% de la superfície agrària de Catalunya, així com el

---

<sup>1</sup> Com les Denominacions d'Origen Protegides (Europa, 2006) o altres segells creats per organitzacions de consumidors (Lotti, 2010).

<sup>2</sup> Dades referents als principals cultius: cereals, cultius oleaginosos, hortalisses, llegums seques, arrels i tubercles.

número d'explotacions agràries hauria disminuït un 62,4%<sup>3</sup>. Aquesta dinàmica d'abandonament agrari té forts impactes a nivell social, econòmic, territorial i de gestió dels ecosistemes i de la biodiversitat (Freemark *et al.*, 2002; Kleijn i Sutherland, 2003; Pretty, 2008).



**Figura 1.1.** Evolució de la producció mundial d'aliments en el període 1960-2009 (font: elaboració pròpia a partir de les dades de FAOSTAT (2011)) (eix d'ordenades: ratió percentual de la producció respecte els valors de l'any 1961; 1961=100).

En tercer lloc, l'amplificació mediàtica que han tingut les intoxicacions alimentàries des de la dècada dels 1980 (Berg, 2004; Banati, 2011), ha fet néixer un sentiment generalitzat de desconfiança respecte el model de producció agrària<sup>4</sup>. En aquest marc, la innocuïtat dels aliments ha esdevingut un focus d'atenció de nombroses polítiques europees (CUE, 2011) i internacionals (vegeu el Food Safety Department de la World Health Organization<sup>5</sup> i el Codex Alimentarius Commission<sup>6</sup>). Tot i això, el problema està lluny d'estar resolt i les intoxicacions alimentàries continuen sent elevades en nombrosos països en vies de desenvolupament (Griffith, 2006), mentre que en els països desenvolupats la problemàtica rau en els contaminants tòxics d'origen sintètic (Porta *et al.*, 2010; Porta *et al.*, 2012).

Paral·lelament s'ha anat reconeixent la indissociable sinergia entre agricultura i gestió dels ecosistemes (Matson *et al.*, 1997; Tilman *et al.*, 2002) i de la biodiversitat (Kleijn i Sutherland, 2003; Henle *et al.*, 2008), fent-se visibles determinats riscos associats a pràctiques agràries d'alta intensitat (Horrigan *et al.*, 2002). Amb la creixent sensibilitat de la societat pels aspectes ambientals, l'agricultura ha hagut de reconèixer i disminuir els seus impactes sobre el medi ambient. Alhora, en un futur, s'haurà d'adaptar a noves realitats ambientals degut al fenomen del canvi climàtic (Lobell *et al.*, 2008).

<sup>3</sup> Font: Institut d'Estadística de Catalunya: *Estadística bàsica de Catalunya (1972-1989)* i *Enquesta sobre l'estructura de les explotacions agràries (1993-2007)*.

<sup>4</sup> En són exemples la contaminació de l'oli de colza (*Brassica napus* L.) l'any 1981, el mal de les vaques boges (Bovine Spongiform Encephalopathy, BSE) l'any 1986, la crisi de les dioxines l'any 1999, o, més recentment, les crisis de la grip aviar (2003) i porcina (2009).

<sup>5</sup> <http://www.who.int/foodsafety/en/> (darrer accés: 11/09/2011).

<sup>6</sup> [http://www.codexalimentarius.net/web/index\\_en.jsp](http://www.codexalimentarius.net/web/index_en.jsp) (darrer accés: 11/09/2011).

Aquests canvis en el sector agroalimentari han fet emergir nous atributs associats a la qualitat dels aliments. Tot i que cada cop ens trobem amb una societat més allunyada del món rural, creix la sensibilització per la qualitat intrínseca i les externalitats ambientals dels aliments. Paràmetres com el valor nutricional, l'impacte del sistema de producció en el medi ambient (agricultura ecològica i/o integrada *versus* agricultura convencional) o l'origen (agricultura local, de proximitat) guanyen pes en el decàleg de preferències dels consumidors. Així els consumidors reclamen una agricultura que generi externalitats positives i uns productes alimentaris de qualitat.

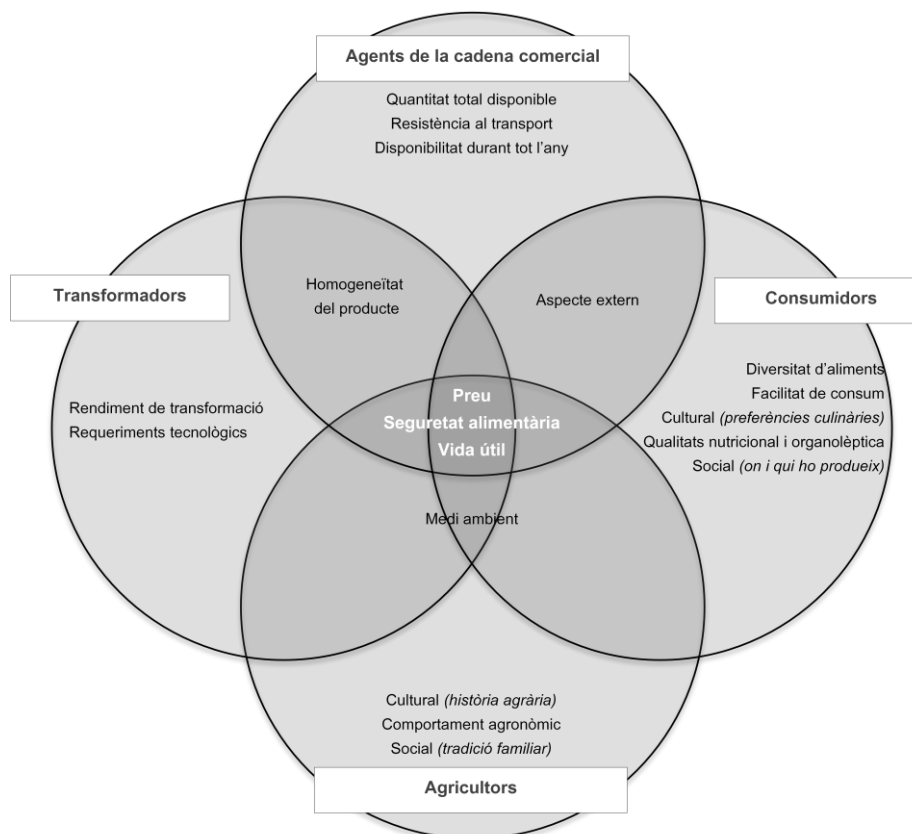
## 1.2. La qualitat dels productes agrícoles

En aquesta conjuntura, els adjectius '*de proximitat*', '*fresc*', '*ecològic*', '*nutritiu*', '*tradicional*' o '*sabor d'abans*' són labels que aporten valor afegit als productes agraris, doncs els consumidors els associen amb una qualitat superior (Rozin *et al.*, 2004; Yiridoe *et al.*, 2005). Aquests conceptes s'han incorporat recentment com a nous atributs de la qualitat dels productes agrícoles, i participen de manera substancial en el preu final del producte.

*"La qualitat és un terme freqüentment emprat però rarament definit"* (Shewfelt, 1999). Segons aquest autor la qualitat dels aliments és un concepte multidimensional que depèn de l'observador i és mutable amb el temps, i que de fet es resumeix en la capacitat de satisfer les demandes i expectatives dels diferents usuaris i consumidors. En el camp de la producció d'aliments és palès que les necessitats i expectatives canvien al llarg de la cadena agroalimentària, des del productor fins al consumidor (Figura 1.2). La valoració que fa de la qualitat aquest darrer és segurament la més difícil de quantificar, doncs la valora en termes de la seva pròpia satisfacció, que és un concepte poc tangible i quantificable (Shewfelt, 1999; Huyskens-Keil i Schreiner, 2003). Per aquest motiu alguns autors (Abbott, 1999; Shewfelt, 1999) proposen definir la qualitat com el conjunt de característiques mesurables i quantificables d'un producte, i que la percepció dels consumidors i la seva resposta a aquestes característiques sigui denominada *acceptabilitat*.

Respecte als productes agrícoles, els agents principals que actuen en la cadena agroalimentària són els agricultors, els transformadors, els agents de la cadena comercial i els consumidors. Els primers generalment valoren els atributs agronòmics dels cultius, com el rendiment, el comportament en postcollita, la facilitat de maneig i la resistència a plagues i malalties. Els transformadors tenen en compte principalment aspectes com la homogeneïtat del producte, els requeriments tecnològics i l'índex de transformació. Els agents de la cadena comercial valoren especialment la qualitat visual (aparença externa), l'homogeneïtat del producte i una conservació llarga. Finalment les preferències dels consumidors fan referència a l'aparença externa, la qualitat organolèptica i nutricional, la frescor i diferents factors ambientals (sistema de producció), culturals (tradicció gastronòmica) i socials (*p.e.* l'origen) associats al producte. El preu, la seguretat alimentària i la vida útil són atributs transversals a tots als agents, essent el primer segurament el més important. No obstant els focus d'interès varien entre societats i al llarg del temps (Wandel i Bugge, 1997; Roininen *et al.*, 2001), i evidentment són específics per a cada producte. Per exemple en el cas del tomàquet (*Solanum lycopersicum* L.) l'aparença externa, el lloc i sistema de producció, la qualitat organolèptica (essencialment la dolçor i acidesa) i el contingut en lycopè, semblen ser els atributs més valorats pels consumidors (Brumfield *et al.*, 1993; Johansson *et al.*, 1999; Simonne *et al.*, 2006; Causse *et al.*, 2010); en canvi per a la mongeta seca (*Phaseolus vulgaris* L.) els trets més valorats pels consumidors estarien relacionats amb la mida, el color i la textura de les llavors, així

com amb la facilitat de cocció i el gust (Sanzi-Calvo i Attienza Del Rey, 1999; Mkanda *et al.*, 2007); un altre exemple és el pebrot (*Capsicum annuum* L.), en el qual els consumidors guien la seva compra en funció de l'aparença externa (forma, mida i color), el lloc i tipus de producció i el preu, donant poc pes a la qualitat nutricional (Frank *et al.*, 2001). Aquests exemples ens mostren les diferents ponderacions que fan els consumidors dels atributs de qualitat en funció del producte.



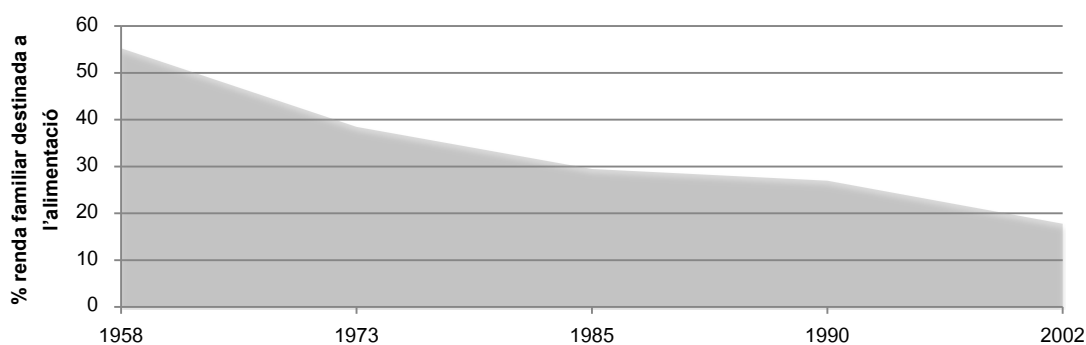
**Figura 1.2.** Els atributs de la qualitat dels productes agrícoles en funció dels diferents agents de la cadena agroalimentària.

### 1.3. Efectes de la Revolució Verda sobre la qualitat dels productes agrícoles

#### 1.3.1. Preu i comportament agronòmic

Aquesta revolució agrària [canvis estructurals (reorganització del sistema agroalimentari) i tecnològics (noves tecnologies agràries)] ha modificat substancialment les qualitats dels productes agrícoles, doncs les plantes cultivades s'han acostat als nous atributs de qualitat exigits per la cadena agroalimentària. Per a determinats atributs s'han aconseguit progressos espectaculars, especialment pel preu, el comportament agronòmic i en postcollita (resistència al transport i vida útil dels aliments), la homogeneïtat i la disponibilitat durant tot l'any. Per d'altres atributs (notablement la qualitat organolèptica i nutricional) sembla que s'ha tendit a una disminució del seu valor.

Respecte al preu, a Europa el percentatge de la renda destinada a l'alimentació ha anat disminuint de manera constant en els darrers 50 anys. Tot i que aquesta variable no és un indicador directe del preu dels aliments (doncs és una funció on hi participa també la capacitat adquisitiva de les famílies), ens pot donar una idea de com ha canviat el preu dels aliments. Segons les dades de l'Institut Nacional de Estadística (INE, 2004) les famílies espanyoles haurien passat de destinar a l'alimentació un 55,3% de la renda l'any 1958 a un 17,8% l'any 2002 (Figura 1.3). Una disminució que indica la pèrdua de pes que té la despesa en aliments dins el pressupost familiar.



**Figura 1.3.** Evolució del percentatge de la renda de les famílies destinada a l'alimentació a Espanya (INE, 2004).

Segurament els progressos més significatius s'han aconseguit en el comportament agronòmic i de postcollita dels cultius. Gran part d'aquests avenços es deuen als programes de millora genètica (vegeu Quadre 1), els quals han permès seleccionar noves varietats (varietats modernes) que presenten un comportament agronòmic superior respecte les varietats cultivades abans de la Revolució Verda (les anomenades varietats antigues o varietats tradicionals). Diferents estudis il·lustren el guany genètic respecte al rendiment dels cultius. En el tomàquet Van der Ploeg *et al.* (2007) han descrit que les varietats modernes presenten un rendiment un 40% superior al de les varietats tradicionals, i Higashide *et al.* (2009) descriuen un increment anual del 0,9% entre el 1950 i el 2000. En la soja (*Glycine max* L.) la millora genètica hauria contribuït a un increment anual del 0,5% entre el 1930 i el 1990; en el blat de moro (*Zea mays* L.) l'increment del rendiment atribuïble a la millora genètica seria proper als 56kg/ha/any entre el 1930 i el 1989 (Duvick, 1992). Valors semblants s'han observat en el blat (*Triticum aestivum* L.) (Austin *et al.*, 1980; Bell *et al.*, 1995; Calderini i Slafer, 1998; Ofversten *et al.*, 2004), l'ordi (*Hordeum vulgare* L.) (Riggs *et al.*, 1981), l'arròs (*Oryza sativa* L.) (Peng *et al.*, 2000) i, en general, en el conjunt d'espècies cultivades de major valor econòmic (Doré i Varoquaux, 2006).

La Revolució Verda és l'etapa de la història agrària en què es van començar a aplicar als cultius, i de manera científica, els coneixements sobre genètica, impulsats pels descobriments de Gregor Mendel al segle XIX (Mendel, 1866). Els primers processos de millora genètica es van aplicar al blat, l'arròs i el blat de moro, tres espècies que representen més del 50% de l'aportació calòrica en l'alimentació humana (Khush, 2001). En aquella època les varietats d'aquests cereals es caracteritzaven per presentar plantes altes, amb una gran superfície foliar i una tija poc ferma, el que provocava importants pèrdues de producció degut a la seva tendència a l'ajagut (Brady, 1934; Atkins, 1938; Pinthus, 1967; Neenan i Spencersmith, 1975; Stanca *et al.*, 1979). El descobriment dels gens recessius *Rht1* i *Rht2* a la varietat japonesa de blat Norin 10 (Borner *et al.*, 1996) i semi-dwarf 1 (*sd1*) a la varietat xinesa d'arròs Dee-geo-woo-gen (DGWG) (Suh i Hue, 1978; Nagano *et al.*, 2005) –anomenats gens d'enanisme- va permetre desenvolupar cultivars de blat i arròs amb una arquitectura de la planta més compacta i resistent a l'ajagut. Un fenotip que permetia incrementar l'índex de collita en més d'un 60% (Khush, 1999, 2001) (Figura 1.4). Aquesta estratègia de millora va ser emprada per primer cop als anys 1950 per l'equip del Dr. Bourlaug (Borlaug, 1968). Respecte al blat de moro, l'explotació de l'heterosi (ja als anys 1930) i la selecció per genotips adaptats a densitats de plantació més elevades, resistent a l'ajagut d'arrels i de tija i menys sensibles a l'esterilitat, va permetre, també, multiplicar els rendiments (Duvick, 1992; Duvick i Cassman, 1999). En aquesta espècie també es van seleccionar varietats de port baix, però al ser un caràcter d'herència poligènica, els guanys van ser més lents (Johnson *et al.*, 1986).

No obstant, tot i que generalment quan es parla de la Revolució Verda hom fa referència als progressos en el camp de la millora genètica, no es pot obviar que un dels descobriments més importants es va produir anys abans. El procés de Haber-Bosch, proposat l'any 1909 pels científics alemanys Fritz Haber i Carl Bosch, permeté la producció a escala industrial d'amoni ( $\text{NH}_4^+$ ), base dels fertilitzants nitrogenats emprats en agricultura. La utilització d'aquests productes canvià profundament el balanç energètic dels cultius, fins aquell moment depenents dels inputs d'origen orgànic. De fet el procés de Haber-Bosch va canviar profundament l'estructura dels agrosistemes, provocant una *desadaptació* dels genotips fins aleshores cultivats i conduint, inexorablement, a l'inici de la Revolució Verda. Actualment es calcula que entre el 30% i el 50% de la producció mundial d'aliments té la seva base energètica en els fertilitzants nitrogenats (Stewart *et al.*, 2005), sostenint gran part de l'alimentació mundial (segons Erismann *et al.* (2008) el 27% de la població mundial del darrer segle ha estat suportada per la fertilització nitrogenada de síntesi).

Aquests dos processos (millora genètica i síntesi de Haber-Bosch) són les forces motrius de la Revolució Verda, i sembla que van tenir un impacte semblant sobre la producció mundial d'aliments. En aquest sentit es calcula que l'aportació de la millora genètica a l'increment del rendiment fou d'entre el 20 i el 50%, en funció de les àrees geogràfiques i la sèrie temporal estudiada (Slafer i Andrade, 1991; Bell *et al.*, 1995; Evenson i Gollin, 2003).



**Figura 1.4.** Evolució de les plantes cultivades d'arròs: esquerra, varietats altes cultivades abans de la Revolució Verda; centre, varietats amb port baix cultivades a partir de la Revolució Verda; dreta, nous morfotips (cv. 'Super Rice') amb baix fillolat però tiges més robustes.

Reproduït amb el permís de Springer Science+Business Media (nº llicència: 2787811440447) des de Khush (1995) Breaking the yield frontier of rice. *Geo Journal* 35:329-332.



Aquest guany genètic respecte al rendiment dels cultius ha anat acompanyat de la identificació de fonts de resistència a les principals plagues i malalties i la seva posterior incorporació al genoma de les varietats modernes. Això ha jugat un paper clau en l'increment de les produccions (Strange i Scott, 2005), i ha permès millorar un atribut de qualitat jutjat essencial pels agricultors: la resistència a plagues i malalties. Tot i que la selecció de poblacions resistents a determinades plagues i malalties ha estat realitzada de manera inherent per tots els agricultors des dels inicis de l'agricultura, no és fins principis del segle XX que es descobreix l'existència de gens de resistència: fou Biffen (1905), qui va descriure que la resistència al rovell groc del blat causat per *Puccinia striiformis* estava controlada per un únic locus. A partir d'aquest treball, i a mesura que s'han anat descobrint altres gens de resistència, aquesta estratègia ha estat àmpliament emprada pels milloradors (Doré i Varoquaux, 2006). Actualment la major part de varietats comercials presenten un o diversos gens de resistència. Per exemple la tercera part de les varietats comercials de blat inscrites al catàleg de varietats comercials presenten els gens *Yr17*, *Lr37*, *Sr38* i *Cre5* de resistència al rovell groc (*P. striiformis*), bru (*P. triticina*) i negre (*P. graminis*) i al nematode *Heterodera avenae*, respectivament (Doré i Varoquaux, 2006). La introgressió del gen *Tm2* de resistència al virus del mosaic del tomàquet (TMV), un virus que segons Broadbent (1976) provocava unes pèrdues de fins el 20% de la producció mundial de tomàquet, és un altre exemple de la rellevància d'aquesta estratègia de millora.

D'altra banda cal fer esment als importants progressos assolits en la postcollita dels aliments (especialment els peribles). El coneixement dels processos fisiològics que condueixen a la senescència i degradació dels vegetals, així com dels patògens actius en la postcollita, ha permès desenvolupar tecnologies específiques per allargar-ne la vida útil (cambres frigorífiques, atmosferes controlades, envasat al buit, etc.) (Kader, 2002). Paral·lelament s'ha anat desxifrant la base genètica de determinats processos relacionats amb la maduració i senescència, així com s'han identificat gens que permeten allargar la vida útil (Prasanna *et al.*, 2007; Matas *et al.*, 2009). Actualment aquesta manipulació està restringida a determinats fruits com el tomàquet, on gens com el ripening inhibitor (*rin*) (Vrebalov *et al.*, 2002) o el non-ripening (*nor*) (Tigchelaar *et al.*, 1973) són àmpliament emprats per allargar la vida útil dels fruits.

### 1.3.2. Qualitat organolèptica i nutricional

En un context on, com hem vist, els programes de millora genètica s'han centrat en els atributs importants per als agricultors (rendiment, postcollita, resistència a plagues i malalties) i els agents de la cadena comercial (homogeneïtat del producte, postcollita), què ha passat amb els atributs importants per als consumidors? Segurament l'únic benefici que han obtingut és un millor preu, una major diversitat d'aliments (accés a productes de diferents regions del món) i la disponibilitat de productes independentment de les estacions de l'any.

Les qualitats organolèptica i nutricional, depenents de la composició química dels aliments, són resultants de la interacció dels genotips amb l'ambient (com per la resta de caràcters). Els canvis que s'han produït al llarg de la revolució agrària en aquests dos factors (genètics i ambientals) haurien afectat negativament a aquests atributs. D'una banda és conegut l'efecte negatiu que tenen determinades pràctiques de maneig abans de la collita (Mattheis i Fellman, 1999; Hewett, 2006) i durant la postcollita (Lee i Kader, 2000; Valero i Serrano,

2010) sobre la qualitat organolèptica i nutricional dels aliments. D'altra banda els genotips sorgits dels programes de millora genètica presentarien una qualitat organolèptica i nutricional pobre. L'herència poligènica d'aquests caràcters (i, per conseqüència, la dificultat per treballar amb ells), les barreres genètiques existents (generalment el rendiment i la qualitat estan negativament correlacionats) i el fet que hagin estat obviats en el disseny dels ideotips dels programes de millora, haurien provocat una pèrdua de qualitat organolèptica i nutricional en el procés d'obtenció de les varietats modernes (Kader, 2008).

L'any 2006 Cindy E. Morris i David C. Sands publicaven a la revista *Nature Biotechnology* l'article intitulat "*The breeder's dilemma – yield or nutrition*" (Morris i Sands, 2006). En aquesta revisió feien referència a l'antagonisme existent entre la millora per rendiment i la qualitat nutricional. Diferents exemples són discutits en el text. Un d'ells és força il·lustratiu: els deu aminoàcids essencials són els mateixos per totes les espècies del regne animal (excepte pels àfids i tèrmit). Així doncs "*els compostos derivats de les plantes que són nutricionalment bons pels insectes, rosegadors i nematodes [...] també ho són pels humans*". Alhora, la major part dels animals tenim receptors del gust comuns i que ens permeten identificar aquests compostos. En aquest context, Morris *et al.* (2006) obren el següent debat: "*si els cultius són millorats per ser indesitjables per les plagues, pot això tenir conseqüències en la qualitat d'aquests cultius com a aliments per als humans?*".

Tot i que aquesta reflexió pot ser discutida, diversos estudis apunten a l'existència de barreres genètiques limitant la millora sincrònica (i, encara més, sinèrgica) per rendiment i vida útil d'una banda, i qualitat organolèptica i nutricional per l'altra (Ulrich i Olbricht, 2011). Un paradigma és la millora per incrementar el temps de postcollita dels vegetals, la qual ha implicat principalment l'alteració de la ruta metabòlica de l'etilè (Lelievre *et al.*, 1997; Giovannoni, 2004; Matas *et al.*, 2009). Aquesta hormona desencadena gran part dels processos relacionats amb la maduració dels fruits climatèrics, i per tant la seva inhibició és una estratègia eficaç per allargar la postcollita dels vegetals (Giovannoni, 2007; Matas *et al.*, 2009). No obstant, l'etilè també actua com a catalitzador de la síntesi de nombrosos volàtils, tal com s'ha descrit en el tomàquet (Griffiths *et al.*, 1999a; Griffiths *et al.*, 1999b), el meló (*Cucumis melo* L.) (Bauchot *et al.*, 1998; Flores *et al.*, 2002), la poma (*Malus domestica* Borkh.) (Fellman *et al.*, 2000; Lurie *et al.*, 2002) i, fins i tot, en fruits no climatèrics com els del gènere *Citrus* (Sharon-Asa *et al.*, 2003). Això implica que una reducció de la síntesi de l'etilè pot provocar un menor perfil aromàtic de les varietats (Ulrich i Olbricht, 2011). Per contra, sembla que aquestes modificacions en el metabolisme de l'etilè tindrien un menor impacte sobre la concentració de sucres i àcids (responsables de la dolçor i acidesa), tal com s'ha descrit en el meló (Ayub *et al.*, 1996; Guis *et al.*, 1997). Nombroses espècies cultivades serveixen d'exemple per il·lustrar aquest procés, essent les més estudiades el tomàquet (Alexander i Grierson, 2002) i la maduixa (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Ulrich i Olbricht, 2011).

Pel que fa a l'efecte de l'increment del rendiment sobre la qualitat organolèptica i nutricional és comunament acceptat, des de mitjan segle XX, que existeix una correlació negativa degut a l'anomenat "efecte dilució" (Jarrell i Beverly, 1981). Aquest terme fa referència a la menor concentració de determinats compostos que es produeix quan s'incrementa la quantitat de matèria vegetal que produeix una planta. Això està ben documentat en el cas de l'efecte ambiental (fertilitzants, irrigació i altres) sobre la qualitat nutricional (com revisat per Davis (2009)), no obstant existeixen menys estudis sobre (1) l'efecte de la component genètica, i (2) l'efecte sobre la qualitat organolèptica. De totes maneres s'admet de manera general que es produeix un patró similar (Jenks i

Bebeli, 2011). Alguns estudis ja han descrit aquests efectes, p.e. Olbricht *et al.* (2008) assenyalen que els encreuaments recurrents entre cultivars d'alt rendiment que es realitzen en els programes de millora genètica poden comportar un efecte de coll d'ampolla respecte a la qualitat organolèptica en la maduixera. Segons els autors, la millora genètica per rendiment hauria comportat una reducció aromàtica en les varietats modernes de maduixa, doncs hauria disminuït la concentració de determinats èsters importants en la percepció aromàtica d'aquest fruit. Un segon cas d'estudi és el tomàquet<sup>7</sup>, en el qual està ben documentada la correlació negativa entre el rendiment i la concentració de determinats compostos relacionats amb la qualitat organolèptica (Tandon *et al.*, 2003; Lecomte *et al.*, 2004). Tot i aquests resultats, són necessaris més estudis amb l'objectiu de conèixer millor l'efecte dels programes de millora sobre els paràmetres de qualitat dels vegetals, com ha assenyalat recentment Davis (2009).

En aquest context s'intensifiquen les queixes dels consumidors respecte a la qualitat organolèptica dels aliments. Encara que és difícil quantificar i monitorar la satisfacció dels consumidors respecte a la qualitat organolèptica, alguns autors han realitzat aproximacions. Així Bruhn *et al.* (1991) van identificar que els productes amb els quals els consumidors dels Estats Units es sentien més insatisfets eren el tomàquet i l'albercoc (*Prunus armeniaca* L.). Malundo (1995) va constatar que els consumidors es sentien més satisfets amb determinats aliments, com el plàtan (*Musa* sp. L.) i l'enciam (*Lactuca sativa* L.), pels quals l'aspecte extern és un bon indicador de la frescor i de la qualitat organolèptica del producte. No obstant, la insatisfacció dels consumidors sembla generalitzada pel conjunt de productes frescos (Shewfelt, 1999). Per aquest motiu, com proposa Kader (2008), la reorientació dels programes de millora genètica per tal d'enriquir el perfil sensorial de les varietats cultivades és un objectiu prioritari. Això permetrà incrementar-ne el consum i, alhora, pot ser una opció per incrementar el benefici de determinades produccions agrícoles.

#### **1.4. La revaloració de les varietats tradicionals: una estratègia per les agricultures locals**

En un context on l'agricultura viu ofegada per l'acumulació d'agents econòmics al llarg de la cadena agroalimentària, l'aproximació del sector productiu als consumidors sembla una estratègia útil per mantenir la viabilitat econòmica de determinades explotacions agràries. Nombroses iniciatives, que emergeixen actualment, proposen innovacions en el sistema de comercialització dels productes agroalimentaris, la major part d'ells apostant per l'agricultura *local* i *ecològica*. Aquests dos segells semblen afectar positivament la valoració que fan els consumidors de la resta d'atributs de qualitat d'un producte. Segons diversos autors l'origen del producte i el label ecològic actuarien com a promotors de la resta d'atributs de qualitat, p.e. la qualitat organolèptica o nutricional (Yiridoe *et al.*, 2005; Stefani *et al.*, 2006). No obstant, aquesta percepció cultural ha de ser reforçada posant l'accent sobre la qualitat organolèptica i/o nutricional intrínseca dels productes comercialitzats.

La recuperació de varietats tradicionals sembla una via ràpida per aconseguir aquest objectiu. Aquestes varietats presenten, en molts casos, una qualitat organolèptica superior a les varietats modernes, i alhora aglutinen importants valors afegits relacionats amb la cultura gastronòmica i la història agrària de cada territori.

---

<sup>7</sup> A la segona part de la introducció s'amplia la discussió sobre aquest punt.

A més, els recursos fitogenètics són una component important de la biodiversitat, per la qual cosa el seu cultiu és percebut com una acció de conservació dels recursos naturals (Smale *et al.*, 2004).

La promoció de determinades varietats tradicionals pot ser una estratègia per dissenyar produccions agrícoles d'elevada qualitat i íntimament lligades a un territori, millorant la valoració global dels consumidors respecte la qualitat dels productes agrícoles. Els estudis recents sobre consumidors mostren l'interès creixent dels consumidors per les varietats tradicionals. Brugarolas *et al.* (2009), en un estudi del mercat de tomàquet a la província d'Alacant, va observar que els consumidors estaven disposats a pagar entre un 58% i un 83% més per les varietats tradicionals respecte a les varietats modernes. Dinis *et al.* (2011), en una enquesta entre consumidors portuguesos, va determinar que els consumidors, independentment de les seves característiques socioeconòmiques, estaven disposats a pagar un preu superior per pomes amb un millor gust, aroma i aparença externa, però també pel fet de ser varietats tradicionals de la zona. Els resultats senyalen l'aparició d'un segment de mercat que comença a valorar els atributs organolèptics per sobre del preu de venda (Grunert, 2002), així com una apreciació creixent pel concepte *varietat tradicional*. Tant és així que alguns autors apunten que determinades varietats tradicionals estan sobrepassant la barrera de l'*aliment* per esdevenir *objectes culturals* (Jordan, 2007).

Per tal d'impulsar aquesta estratègia de revaloració de les agricultures locals mitjançant la recuperació de varietats tradicionals d'elevada qualitat organolèptica cal fer front a diverses amenaces: (1) en primer lloc el procés d'erosió genètica ha reduït considerablement la variabilitat existent de les varietats tradicionals (Hammer *et al.*, 1996; Jarvis *et al.*, 2008; van de Wouw *et al.*, 2010); (2) en segon lloc generalment es tracta de varietats poc estudiades, per la qual cosa cal realitzar estudis per tal de determinar, de manera objectiva, les característiques diferencials de cada varietat, així com el seu potencial agronòmic i la seva qualitat organolèptica i nutricional; (3) en tercer lloc, és plausible que algunes d'aquestes varietats presentin deficiències que limitin el seu cultiu, com *p.e.* la sensibilitat de les varietats tradicionals de tomàquet als diferents virus que afecten a aquesta espècie (TMV, *Tomato Spotted Wild Virus* (TSWV) i *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV)) (Soler *et al.*, 2010). És urgent, doncs, la realització d'estudis que tinguin per objectiu conservar la variabilitat genètica de les varietats tradicionals així com caracteritzar els materials a nivell agronòmic, morfològic, sensorial i químic. Únicament disposant del material vegetal i del coneixement sobre les seves característiques és plausible endegar aquesta estratègia sinèrgica de recuperació de l'agrobiodiversitat i desenvolupament rural.



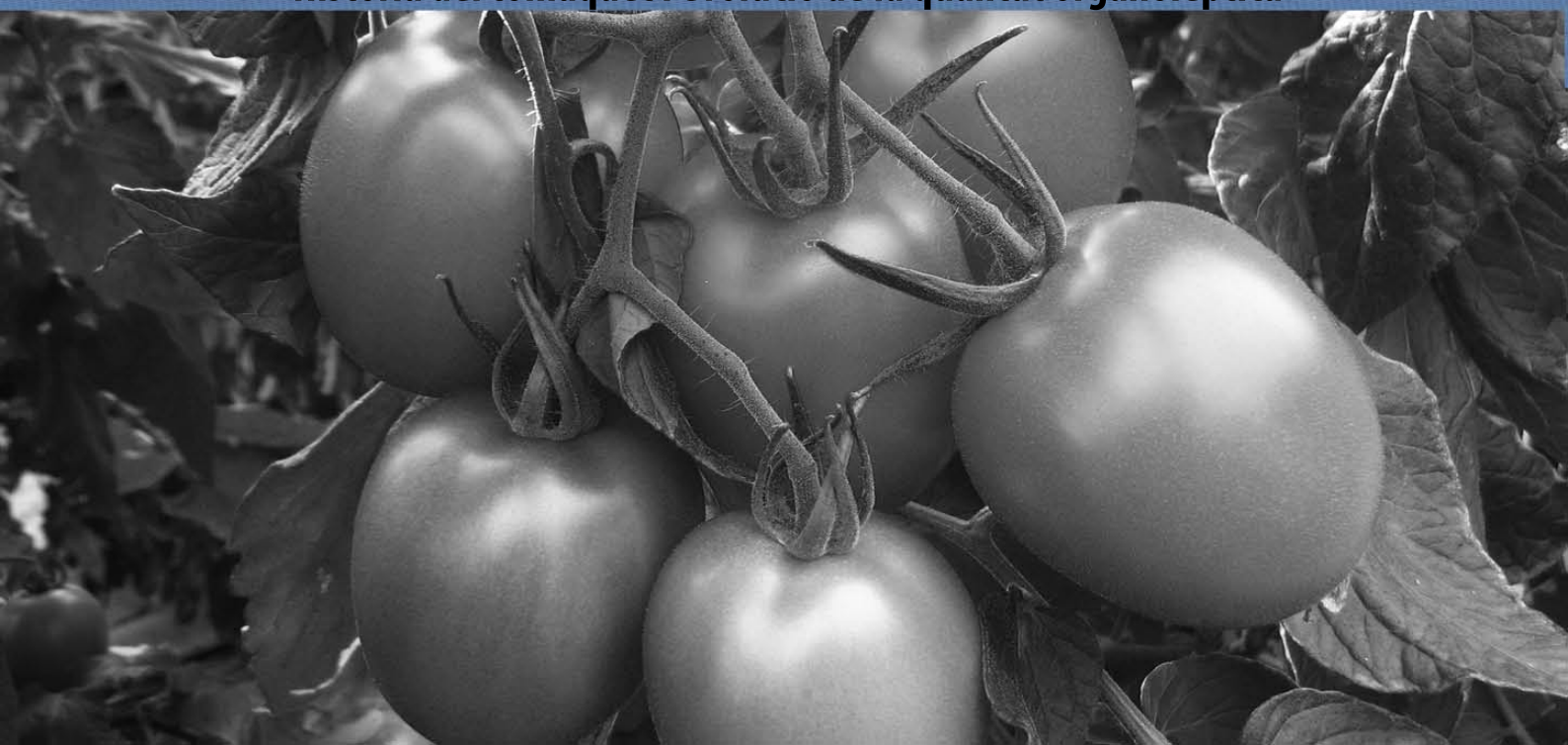
## Capítol 1.

### Introducció



*Segona part*

**Història del tomàquet i evolució de la qualitat organolèptica**





## Segona part. Història del tomàquet i evolució de la qualitat organolèptica

*A la segona part de la introducció es proposa una revisió dels principals canvis que s'han produït al llarg de la història del tomàquet, que ens serveix per fer una interpretació dels efectes dels processos associats a la domesticació, la diversificació i la millora genètica moderna sobre la qualitat organolèptica d'aquesta espècie cultivada.*

*El que segueix és, doncs, una interpretació de l'evolució de la qualitat organolèptica del tomàquet al llarg de la seva història.*

### 1.5. El tomàquet, una espècie model

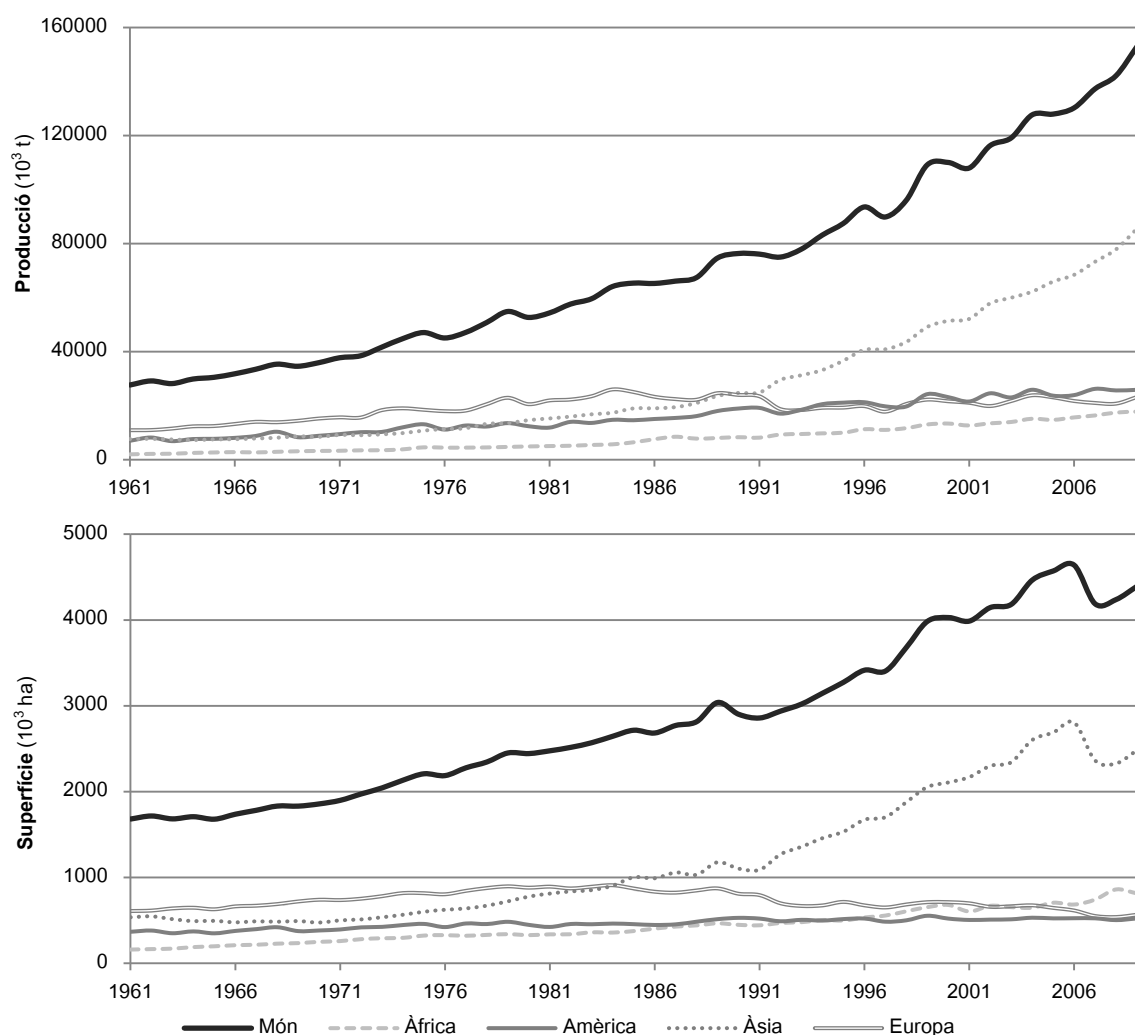
El tomàquet és una de les espècies cultivades més populars al món. Després de la patata (*Solanum tuberosum* L.), el tomàquet és la segona hortalissa més consumida (FAOSTAT, 2011) i representa en la nostra dieta una important font de vitamines, minerals i compostos fenòlics antioxidants. Aquesta aportació és deguda a l'elevat consum d'aquest fruit, doncs el tomàquet conté quantitats moderades de vitamina C, vitamina A i carotens, entre d'altres (Stommel, 2007). Un dels principals components nutritius del tomàquet és el licopè, carotè que determina la coloració vermella del fruit i que ha estat relacionat amb una disminució del risc de patir malalties cardiovasculars i determinats càncers, *p.e.* de pròstata i cervical (Giovannucci, 1999; Kun *et al.*, 2006).

El tomàquet és àmpliament cultivat i consumit arreu del món. Gairebé una tercera part de la terra cultivada amb hortalisses està ocupada per aquesta espècie, alhora que és un dels protagonistes durant l'estiu dels horts *amateurs*. És consumit en un ampli ventall de preparacions gastronòmiques: cru en amanides, suc i altres preparacions culinàries, i processat en forma de purés, suc concentrats, condiments i salses. Alhora es tracta d'una de les hortalisses preferides pels consumidors, especialment a Itàlia i Espanya, (*p.e.* Pérez-Rodrigo *et al.* (2003) van observar que entre els espanyols menors de 24 anys el tomàquet i l'enciam eren els vegetals preferits), països capdavanters en el consum per càpita (Figura 1.5).

Durant els darrers 50 anys la producció mundial s'ha multiplicat per més de 5, passant de 27.618 milers de tones l'any 1961 a 152.965 l'any 2009 (Figura 1.5). Aquest increment és degut a una major superfície cultivada (1961=1.680 milers d'ha; 2009=4.393 milers d'ha) i al major rendiment dels cultius. Els progressos assolits en el camp de la millora genètica (varietats modernes d'elevat rendiment) i de l'agronomia (cultiu sota hivernacle, adobs i fitosanitaris de síntesi, irrigació) han permès multiplicar per més de 2 el rendiment en aquest període (Grandillo *et al.*, 1999b).

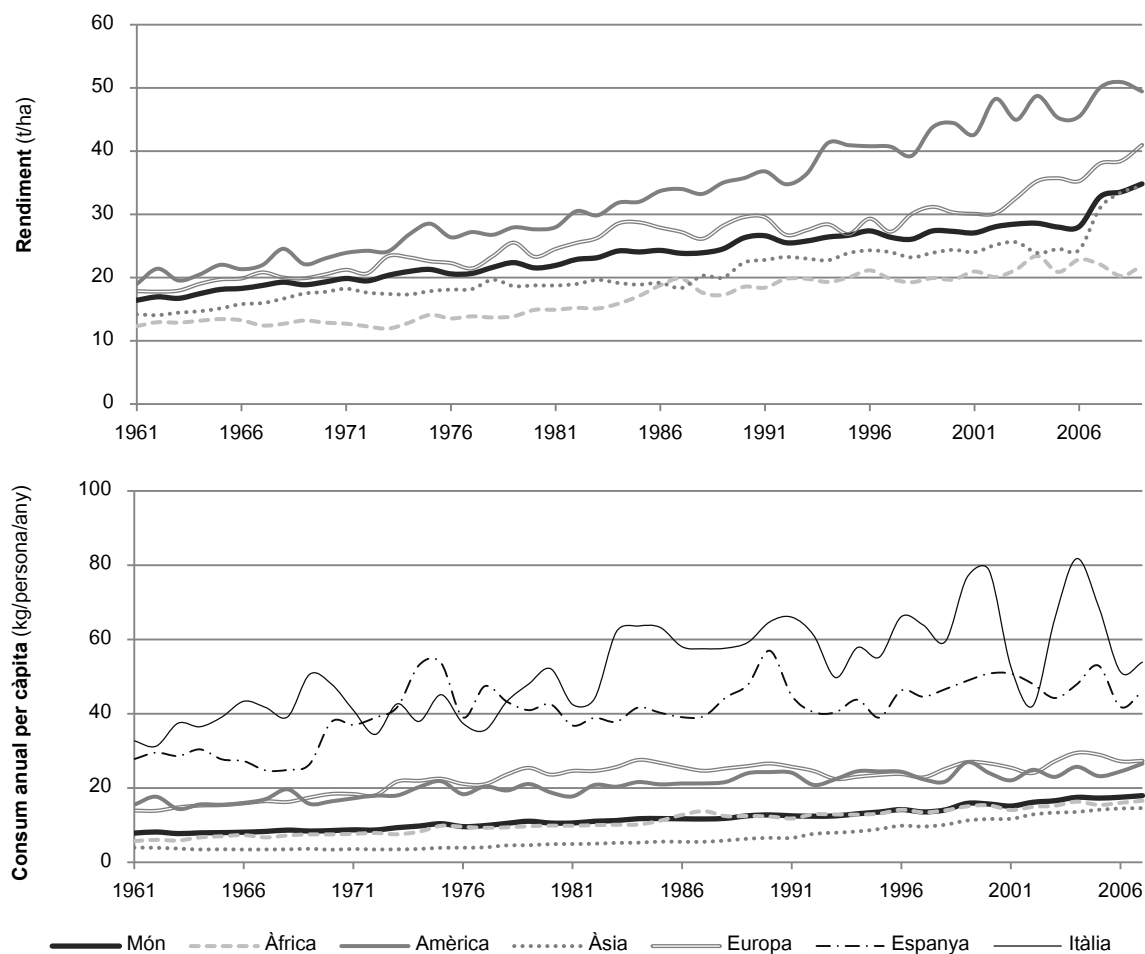
Aquests avenços han estat impulsats pels importants esforços en investigació que s'han fet en aquesta espècie. De fet el tomàquet és un organisme model, i possiblement la segona planta més estudiada després de l'*Arabidopsis thaliana* L.. Segons Rick *et al.* (1988) i Foolad (2007) el tomàquet és una planta excel·lent per a la

investigació bàsica i aplicada degut a: la facilitat per cultivar-lo en ambients molt diversos, al cicle de cultiu curt i no sensible al fotoperíode, un elevat grau d'autofecundació i d'homozigosi, la facilitat per realitzar hibridacions controlades, el fet de ser una de les espècies diploides amb el genoma més petit, el baix grau de duplicació gènica, la possibilitat de realitzar multiplicació asexual i de regenerar la planta sencera, la capacitat de desenvolupar haploides, i l'accés a un ampli número de mutants i d'estocs genètics (<http://tgrc.ucdavis.edu>). Això ha comportat que el tomàquet hagi estat escollit com a planta model per estudiar múltiples processos biològics, com els relacionats amb la maduració en els fruits climatèrics (regulació de l'etilè) (Matas *et al.*, 2009) o els canvis que es produeixen durant la postcollita en els fruits carnosos. Una simple cerca en la bibliografia científica pot donar com a resultat més de 30.000 articles publicats sobre tomàquet, resultants de més de 100 anys d'investigació en aquesta espècie.



**Figura 1.5.** Evolució (1961-2009) de la producció, la superfície cultivada, el rendiment i el consum anual per càpita de tomàquet. Dades mundials i desglossades per continents. No es mostren les dades d'Oceania, ja que aquest continent significa menys del 0,4 i 0,2% de la producció i superfície mundials, respectivament (font: elaboració pròpia a partir de FAOSTAT (2011)). Per la variable consum anual per càpita es mostren també les dades corresponents a Espanya i Itàlia, els dos països europeus on el tomàquet presenta una major tradició gastronòmica.





**Figura 1.5.** (continuació) Evolució (1961-2009) de la producció, la superfície cultivada, el rendiment i el consum anual per càpita de tomàquet. Dades mundials i desglossades per continents. No es mostren les dades d'Oceania, ja que aquest continent significa menys del 0,4 i 0,2% de la producció i superfície mundials, respectivament (font: elaboració pròpia a partir de FAOSTAT (2011)). Per la variable consum anual per càpita es mostren també les dades corresponents a Espanya i Itàlia, els dos països europeus on el tomàquet presenta una major tradició gastronòmica.

## 1.6. La qualitat organolèptica en el tomàquet

La qualitat organolèptica del tomàquet per a consum en fresc està determinada per una sèrie d'atributs relacionats amb el gust, l'aroma i la textura (Hongsoongnern i Chambers, 2008). El perfil sensorial és una funció complexa on hi participen tots els atributs, tot i que alguns d'ells tenen més importància en l'acceptació per part dels consumidors. Segons diversos autors la dolçor, l'acidesa i la intensitat de sabor a tomàquet serien els atributs més importants, seguits pels atributs de textura (principalment la farinositat del pericarp i la fermesa) (Baldwin *et al.*, 1998; Verkerke *et al.*, 1998; Le i Ledauphin, 2006; Lengard i Kermit, 2006; Sinesio *et al.*, 2010). No obstant, existeixen importants diferències entre segments de consumidors. Causse *et al.* (2010) han estudiat les preferències dels consumidors de 3 països europeus (França, Itàlia i Holanda) i han detectat tres grups de consumidors: un primer grup preferiria els tomàquets amb un sabor intens, una elevada dolçor i

una textura cremosa; un segon grup preferiria els fruits cruixents i fermes amb aromes *verds* i un sabor acídic; el tercer preferiria els fruits amb un gust àcid i una pell gruixuda. A nivell general s'ha proposat que l'increment de la dolçor, mantenint uns nivells acceptables d'acidesa, és una estratègia de millora a fi d'incrementar l'acceptació per part dels consumidors (Tandon *et al.*, 2003). Aquest increment dels sucres i àcids, però, ha d'anar acompanyat d'una millora de la concentració de determinats volàtils, responsables del gust únic del tomàquet (Klee, 2010). Finalment, i donada la seva rellevància, cal fer esment a l'aparença externa i la informació que acompanya el producte, aspectes determinants en la l'acceptació per part dels consumidors (Francis, 1995; Johansson *et al.*, 1999; Brueckner *et al.*, 2007).

La relació entre els atributs organolèptics i la composició química del tomàquet ha estat molt descrita en la bibliografia (per una revisió vegeu Causse *et al.* (2007b)). La dolçor i l'acidesa estan relacionades amb el contingut en sucres (principalment fructosa i glucosa) i àcids (principalment àcid cítric i màlic) i amb la proporció existent entre ells. L'aroma és una funció composta on hi participen més de 400 volàtils, tot i que sembla que només un grup reduït (30) tindrien un impacte important sobre el perfil aromàtic (Baldwin *et al.*, 2000). Finalment els atributs texturals són més difícils de relacionar amb mesures instrumentals, tot i que s'ha trobat una relació entre la fermesa i els tests de compressió (Causse *et al.*, 2002), alhora que la cremositat ha estat relacionada amb l'estructura cel·lular del pericarpí (Verkerke *et al.*, 1998; Chaib *et al.*, 2007).

### **1.7. “How the tomato lost its taste”**

L'any 1988 Graeme Hobson publicava a la revista *New Scientist* l'article “*How the tomato lost its taste*” (Hobson, 1988), on constata la baixa qualitat organolèptica dels tomàquets comercialitzats a Nord-Amèrica. Aquest article recollia les apreciacions d'altres autors que alertaven d'aquest fet des dels anys 1970 (Kader *et al.*, 1977; Stevens *et al.*, 1977; Watada i Aulenbach, 1979; Kramer, 1980). Posteriorment Bruhn *et al.* (1991) van posar de relleu que el tomàquet era el producte del qual els consumidors es sentien més insatisfets en relació amb la qualitat organolèptica. Més de 20 anys després els tomàquets comercialitzats continuen sent molt pobres organolèpticament i és motiu de queixa i insatisfacció entre els consumidors.

Les causes d'aquesta baixa de qualitat organolèptica són diverses. La més important fa referència a la base genètica dels caràcters relacionats amb la qualitat organolèptica, la majoria dels quals tenen una herència poligènica (Causse *et al.*, 2007a). Donada la dificultat per treballar amb aquests caràcters, els programes de millora s'han centrat exclusivament en el rendiment, la homogeneïtat del fruit, la resistència a plagues i malalties i la postcollita, obviant els caràcters organolèptics en els ideotips dissenyats en els programes de millora. Un segon factor que hauria actuat en detriment de la qualitat organolèptica serien determinades pràctiques de maneig, doncs els paràmetres relacionats amb la qualitat en el tomàquet estan fortament afectats per l'ambient (Davies i Hobson, 1981; Carli *et al.*, 2011). La collita dels fruits quan trenquen de color (Ortiz-Serrano i Gil, 2010), els danys mecànics durant l'emalatge (Moretti *et al.*, 1998) i unes condicions durant la postcollita inadequades (Ratanachinakorn *et al.*, 1997; Boukobza i Taylor, 2002) provocarien una important pèrdua de qualitat organolèptica. Finalment, la introgressió dels gens *rin* i *nor* per allargar la postcollita dels fruits també ha jugat un paper important en el pobre perfil sensorial de les varietats modernes (Causse *et al.*, 2007b).

En aquest context l'obtenció de varietats que presentin un perfil sensorial superior s'ha definit com un objectiu prioritari en els programes de millora (Kader, 2008). Per avançar en aquesta direcció sembla que els caràcters més importants a millorar serien la dolçor, l'aroma i la textura dels fruits (Causse *et al.*, 2010; Sinesio *et al.*, 2010). Cal remarcar, alhora, que diversos estudis mostren que els consumidors estarien disposats a pagar més per tomàquets amb una qualitat organolèptica superior (Brumfield *et al.*, 1993; Simonne *et al.*, 2006; Brugarolas *et al.*, 2009).

Tot i les apreciacions dels consumidors, però, és difícil quantificar la pèrdua de qualitat organolèptica durant l'evolució del tomàquet cultivat, així com valorar-ne la importància relativa dels diferents factors (ambientals i genètics), doncs no existeixen estudis al respecte. No obstant s'intueix que al llarg de l'evolució del tomàquet (des de la domesticació fins als programes de millora genètica moderna) s'han produït diversos colls d'ampolla que haurien afectat a la base genètica relacionada amb els paràmetres de qualitat. Aquesta evolució organolèptica centra l'atenció dels següents apartats.

## **1.8 Filogènia de la qualitat organolèptica: de la domesticació a la millora genètica moderna**

### *1.8.1. La domesticació i els seus efectes secundaris*

La domesticació comportà importants canvis morfològics i fisiològics en les espècies cultivades. Els trets que distingeixen les formes cultivada i silvestre d'una espècie es coneixen com la síndrome de la domesticació (Hammer, 1984) i són semblants en el conjunt d'espècies cultivades: un creixement més compacte, major precocitat, disminució de la tendència a la dispersió de les llavors, reducció de la dormició, i tendència al gegantisme i a la diversificació morfològica de la part comestible (Frery *et al.*, 2003). En el cas del tomàquet, els canvis més importants que es van produir foren relacionats amb l'hàbit de creixement (dominància apical, precocitat i altura de la planta) i la mida i morfologia del fruit (color, mides i formes diferents) (Bai i Lindhout, 2007; Paran i van der Knaap, 2007) (Figura 1.6). Un exemple d'aquests canvis el trobem en les diferències existents entre el germoplasma cultivat (*S. lycopersicum* L.) i els ancestres silvestres (*Solanum lycopersicum cerasiforme* (Dunal) Spooner, G. J. Anderson & R. K. Jansen i *Solanum pimpinellifolium* L.) (Ranc *et al.*, 2008). El tomàquet cultivat presenta una gran diversitat morfològica respecte al pes del fruit (de 15g a més de 500g), la forma (esfèric, piriforme, cilíndric, el·lipsoide, en forma de cor i de pera, aixafat, presència de costelles) i el color extern (anant de verd i groc pàl·lid a porpra intens). Per contra la majoria d'espècies emparentades es caracteritzen per tenir un fruit esfèric, de color verd o porpra i un pes baix (<30g) (Bedinger *et al.*, 2011) (Figura 1.7).

Aquests canvis en la morfologia del fruit que es van produir durant la domesticació del tomàquet estan regulats per un nombre reduït de gens. Per exemple s'ha detectat que només 17 QTLs (Quantitative Trait Loci) regulen gairebé el 80% de la diversitat morfològica existent en el germoplasma cultivat (Barrero i Tanksley, 2004; Tanksley, 2004; Brewer *et al.*, 2007). Respecte al pes del fruit les variacions produïdes als inicis de la domesticació en el gen *fw2.2* estarien a la base de gairebé el 30% de la variació existent en el tomàquet cultivat (Frery *et al.*, 2000; Nesbitt i Tanksley, 2001). Aquest locus codifica una proteïna que suprimeix la divisió cel·lular en els teixits del fruit, per la qual cosa la seva inactivació provoca un engruïment (Liu *et al.*, 2003a).

Els canvis en el gen *fw2.2*. van comportar un primer pas cap als tomàquets cultivats amb fruits de mida gran. No obstant, els majors canvis van ser deguts a modificacions en dues regions del genoma conegudes com *locule-number* (LC) (cromosoma 2) i *fasciated* (FAS) (cromosoma 11), suposadament seleccionades en las fases finals del procés de domesticació (Lippman i Tanksley, 2001; Cong *et al.*, 2008). Probablement l'increment de la mida del fruit durant les primeres fases de la domesticació va permetre l'aparició de diferents morfologies que fins llavors estaven emmascarades per la mida reduïda del fruit. Com han indicat Grandillo *et al.* (1999a), "l'escenari més probable és que els primers humans van seleccionar mutacions associades amb la mida gran del fruit i formes variables i que, gradualment, suficients mutacions codificant per fruit gran i fruit no esfèric es van anar acumulant", originant la variabilitat morfològica que s'observa actualment.



**Figura 1.6.** Diversitat morfològica en el tomàquet cultivat: (A) comparació del fruit de la varietat *Giant Heirloom* amb el fruit de l'ancestre silvestre *Solanum pimpinellifolium*, (B) variació de la mida i la forma del fruit en el tomàquet cultivat (Tanksley, 2004).

Reproduït amb el permís de l'American Society of Plant Biologists, des de Tanksley (2004) The genetic, developmental and molecular bases of fruit size and shape variation in tomato. *The Plant Cell* 16: S181–S189.



**Figura 1.7.** Forma de la fulla (A) i del fruit (B) de les diferents espècies del complex *Solanum lycopersicum*: (I) *S. Chmielewskii* (C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M. Holle) D.M. Spooner, G.J. Anderson & R.K. Jansen, (II) *S. Habrochaites* S. Knapp & D.M Spooner, (III) *S. Lycopersicum* L., (IV) *S. Pimpinellifolium* L., (V) *S. Neorickii* D.M. Spooner, G.J. Anderson & R.K. Jansen, i (VI) *S. Pennellii* Correll (Schauer *et al.*, 2005).

Reproduït amb el permís de Oxford University Press (nº llicència: 2796970895223) des de Schauer *et al.* (2005) Metabolic profiling of leaves and fruit of wild species tomato: a survey of the *Solanum lycopersicum* complex. *Journal of Experimental Botany* 56:297-307.

La domesticació del tomàquet és un procés molt descrit en la bibliografia científica (Bai i Lindhout, 2007; Paran i van der Knaap, 2007), però l'efecte de la domesticació sobre la qualitat organolèptica és un procés poc estudiat. El sentit comú ens fa pensar que els primers agricultors van fer una selecció positiva pels paràmetres relacionats amb la qualitat organolèptica. No obstant, i al revés del que hem vist abans amb els caràcters morfològics del fruit (controlats per uns pocs gens), la qualitat organolèptica del tomàquet és una funció complexa on hi participen centenars de paràmetres (àcids, sucres, carotens, proteïnes i més de 400 volàtils), els quals presenten una herència poligènica amb importants fenòmens d'epístasi (Causse *et al.*, 2007a). Aquesta elevada complexitat dificulta que la pressió de selecció sigui efectiva per aquests caràcters, especialment en unes poblacions on existia una forta tendència a l'al·logàmia (Rick, 1976), i, per tant, una elevada probabilitat d'heterozigosi (i de segregació al produir-se autofecundacions).

A més el gust és un paràmetre que podem dir que està lleugerament amagat, doncs només es detecta en el moment del consum del fruit. Per contra, la morfologia del fruit i la seva mida, així com l'hàbit de creixement de la planta, s'observen en el mateix camp de cultiu, facilitant la selecció dels individus dels quals es promourà que deixin descendència per constituir la següent generació cultivada.

Alhora és plausible que existeixin barreres genètiques que impossibilitin la millora sincrònica de diferents caràcters. Alguns autors han mostrat que el pes del fruit i els sòlids solubles totals estan negativament correlacionats (Goldenberg i von der Pahlen, 1966; Ibarbia i Lambeth, 1971; Prudent *et al.*, 2009). Considerant que durant la domesticació del tomàquet es produí una selecció positiva per l'engruiximent del fruit, podem inferir que això comportà una disminució de la dolçor en els materials cultivats. Aquesta correlació negativa entre alguns paràmetres relacionats amb la qualitat organolèptica (dolçor) i caràcters importants de la síndrome de la domesticació (mida del fruit) haurien limitat aquesta millora del sabor.

D'altra banda, i considerant que durant la domesticació del tomàquet es produí una reducció dràstica de la variabilitat genètica<sup>8</sup>, és versemblant que, simplement per una qüestió de probabilitat, la domesticació fos un primer coll d'ampolla on es van perdre gens interessants relacionats amb la qualitat organolèptica. La identificació en les espècies silvestres de gens interessants per a la millora de caràcters organolèptics i nutricionals apuntaria a aquesta hipòtesi (Fernie *et al.*, 2006). Per exemple s'han detectat diferents mutacions en les espècies silvestres que provoquen increments en la composició en carbohidrats del fruit (els gens *sucr* (Chetelat *et al.*, 1995) i *Fgr* (Levin *et al.*, 2000) i el QTL *Brix2-9-5* (Fridman *et al.*, 2004)), en carotens (Liu *et al.*, 2003b) o alteracions en la composició aromàtica (Kamal *et al.*, 2001).

---

<sup>8</sup> Diversos autors han suggerit que degut al pas de l'al·logàmia a l'autogàmia per la manca de pol·linitzadors en l'àrea de domesticació, al fenomen de la llavor fundadora (és a dir la quantitat de variabilitat genètica que va arribar a l'àrea on es va produir la domesticació) i a la selecció per part dels agricultors d'un petit nombre de variacions interessants pel cultiu, la domesticació comportà una dràstica reducció de la variabilitat genètica del tomàquet (com ha ocorregut amb la majoria d'espècies cultivades (Doebley *et al.*, 2006)). Treballs com els de Williams *et al.* (1993), Miller *et al.* (1990), Villand *et al.* (1998) o Alvarez *et al.* (2001) mostren com la variabilitat genètica intra-específica del *S.lycopersicum* és la més baixa en comparació amb la resta d'espècies emparentades del gènere *Solanum*. De fet el tomàquet presentaria menys del 5% de la diversitat genètica existent en els seus ancestres silvestres (Rick i Fobes, 1975; Miller i Tanksley, 1990). Aquesta escassa variabilitat genètica no limita la variabilitat per caràcters morfològics, fisiològics o sensorials, doncs un nombre molt reduït de gens seria responsable de la gran variació fenotípica existent per caràcters morfològics (Tanksley, 2004).

Si ens fixem en el que ha passat en d'altres espècies cultivades podem trobar exemples diferents. Un cas clar de pèrdua de qualitat organolèptica durant la domesticació seria la maduixera. L'espècie cultivada (*Fragaria x ananassa* Duch.) presenta menys intensitat aromàtica respecte l'espècie silvestre (*Fragaria vesca* L.) (Pyysalo *et al.*, 1979). Segons Aharoni *et al.* (2004) la selecció durant la domesticació d'una mutació en el gen *FaPINS*, així com dels genotips amb una menor expressió de dos gens (*FaNES2*; *F. vesca NeS1*), va provocar una menor síntesi de determinats volàtils. Aquests petits canvis genètics serien els principals responsables del diferent perfil aromàtic de les dues espècies. Per il·lustrar el procés contrari (increment de la qualitat organolèptica durant la domesticació) ens podem fixar en l'arròs, una espècie on s'haurien seleccionat les varietats més aromàtiques. Segons Bradbury *et al.* (2005) durant la domesticació es va seleccionar una mutació en el gen *fgr* que provoca un increment de la síntesi de *2-acetil-1-pirrolina*, el volàtil predominant en les varietats aromàtiques d'arròs<sup>9</sup>.

Dos treballs fets en tomàquet mostren un procés anàleg al descrit en l'arròs. Tadmor *et al.* (2002) descriuen que durant la domesticació es va perdre un gen que provocava un increment dels volàtils 2-feniletanol i fenilacetaldehid. Alts nivells d'aquests volàtils han estat descrits com a desagradables (Petro-Turza, 1986), per la qual cosa Tadmor *et al.* (2002) van anomenar al gen *malodorous*. D'altra banda Matsui *et al.* (2007) han identificat, en una població de línies introgressades amb fragments de l'espècie silvestre *Solanum pennellii* Correll, una línia amb un elevat contingut en C9-aldehids. Aquesta família d'aldehids són més típics de les cucurbitàcies (són volàtils importants en l'aroma del meló i del cogombre (*Cucumis sativus* L.)) que de les solanàcies. De fet en el tomàquet una elevada presència d'aquestes volàtils ha estat descrita com *off-flavor*. Aquesta elevada presència de C9-aldehids té una herència qualitativa de tipus dominant, fet que hauria facilitat la selecció dels fenotips que no presentaven aquesta mutació durant les primeres etapes de la domesticació.

Donat que no s'han conservat materials cultivats de fa 5.000 - 10.000 anys, és difícil demostrar què ha passat realment en les primeres etapes de la domesticació. Goff *et al.* (2006) han assenyalat la tendència a la disminució de la qualitat organolèptica comparant l'aroma d'una varietat àmpliament cultivada actualment amb una entrada de *S. l. cerasiforme*. L'anàlisi químic revelà que l'ancestre silvestre presentava nivells molt més elevats d'alguns dels volàtils considerats importants en la percepció de l'aroma del tomàquet (Baldwin *et al.*, 2000). Però, tot i la vistositat dels resultats, en el seu estudi Goff *et al.* (2006) només comparaven dues entrades, per la qual cosa no es pot fer cap generalització referent a l'efecte de la domesticació sobre la concentració de volàtils en el tomàquet cultivat.

L'evolució de la qualitat organolèptica durant la domesticació sembla, doncs, trobar-se en un punt d'equilibri amb la resta de caràcters que conformen la síndrome de la domesticació. La hipòtesi més plausible és que durant la domesticació es produís una selecció positiva per qualitat organolèptica. No obstant la seva efectivitat dependria del tipus d'herència dels caràcters: la selecció hauria estat molt efectiva per aquells caràcters

---

<sup>9</sup> El cas de l'arròs és, però, certament especial. L'espècie *Oryza sativa* L. va substituir en l'alimentació humana una espècie molt més nutritiva i gustosa (*Zizania latifolia* Turcz.), degut a que presentava millors rendiments (Murphy, 2007). Així doncs, tot i que filogenèticament es van seleccionar variants amb una qualitat organolèptica superior dins l'espècie *Oryza sativa* L., es podria argumentar que a nivell global la selecció d'una espècie amb un millor comportament agronòmic (com ho és l'arròs) va ser en detriment de la qualitat organolèptica (i.e. *Zizania latifolia* Turcz.).

controlats per un o pocs gens i d'herència dominant (per exemple la inactivació del gen *malodorous* (Tadmor *et al.*, 2002)) i poc efectiva pels caràcters governats per QTL (com per exemple la concentració de sucres i àcids (Causse *et al.*, 2007b)). Finalment l'existència d'una correlació negativa entre determinats caràcters protagonistes de la síndrome de la domesticació i determinades propietats organolèptiques o nutritives (*p.e.* pes del fruit i sòlids solubles (Prudent *et al.*, 2009)) hauria constituït una barrera genètica. De totes maneres és molt probable que, tot i estar limitats per aquests factors genètics, els primers agricultors seleccionessin les millors combinacions genètiques respecte al perfil sensorial.

### 1.8.2. Diversificació: l'origen de les varietats tradicionals

La domesticació, lluny de ser un procés discret en el temps, s'allargà durant centenars o milers d'anys (com descrit en el blat de moro (Pope *et al.*, 2001) i el blat (Tanno i Willcox, 2006)). Alhora, en aquells casos on la domesticació es produí en la mateixa àrea d'origen de l'espècie silvestre, la transferència de gens entre l'espècie cultivada i la silvestre per hibridacions espontànies devia ser un procés continu (Bedinger *et al.*, 2011). No obstant, quan les espècies cultivades van començar a estendre's per la resta del planeta s'instaurà una barrera geogràfica, limitant-se els intercanvis entre el pool genètic de l'espècie cultivada i la silvestre (Hancock, 2004).

La dispersió del tomàquet des del centre de domesticació a la resta del continent americà sembla que va ser més aviat escassa (Esquinas-Alcázar, 1981; Esquinas-Alcázar i Nuez, 1995), en comparació amb d'altres espècies com el blat de moro, domesticat a Amèrica Central i ja conegut a la conca Amazònica el 4.000 o 5.000 abans de la nostra era (Bush *et al.*, 1989). Un bon exemple és que el tomàquet no arribà a Nord-Amèrica fins el 1700, i fou justament a través de la via europea (Robertson i Labate, 2007). El punt d'inflexió en la dispersió del cultiu del tomàquet foren els viatges de Cristòfor Colom al segle XV. Els primers exploradors van portar del continent americà a Europa el tomàquet i moltes altres espècies com el cotó (*Gossypium hirsutum* L.), la patata, el pebrot, el blat de moro, la mongeta i els cacauets (*Arachis hypogaea* L.) (Hancock, 2004).

A Espanya i Itàlia, la incorporació del tomàquet a la gastronomia i la popularització del seu cultiu sembla que van ser bastant ràpids (Esquinas-Alcázar i Nuez, 1995; Laterrot i Philouze, 2003). L'any 1544 Mattioli ja esmentava la seva presència a Itàlia<sup>10</sup>, descrivint-lo com una espècie "*amb els fruits aplanats i acostellats, verds que esdevenen groc d'or, i que alguns consumeixen fregits en oli amb sal i pebre, com les albergínies i els xampinyons*" (Mattioli, 1544). Al sud d'Espanya existeixen referències de la seva presència en mercats d'alimentació l'any 1608 (Hamilton, 2000). Alhora, al segle XVI ja es troben receptes publicades on hi apareix el tomàquet, així com al segle XVII Tirso de Molina ja citava amanides de tomàquet en la seva obra *El amor médico* (Dondarini, 2010). A la resta d'Europa, però, el tomàquet no va penetrar de manera generalitzada a la gastronomia fins al segle XVIII. Aquesta tardança es deu a dos factors: en primer lloc la climatologia, molt més propícia al cultiu del tomàquet a la regió mediterrània que a la resta del continent; en segon lloc, en alguns països el tomàquet inicialment fou considerat com una espècie ornamental i existia el temor de què fos tòxica (Laterrot i Philouze, 2003).

---

<sup>10</sup> Vegeu el magnífic treball de Gentilcore (2010) sobre la història del tomàquet a Itàlia.

El viatge del tomàquet des d'Amèrica fins a Europa implicà un segon coll d'ampolla afectant a la variabilitat genètica, doncs evidentment no tota la variabilitat genètica es va traslladar d'un continent a l'altre. Per tant, i com a conseqüència d'una baixa grandària de la població efectiva importada, les poblacions cultivades a Europa presenten una menor variabilitat genètica respecte a les cultivades a Amèrica. Aquest procés ha estat estudiat per Villand *et al.* (1998), comparant la diversitat genètica existent als centres de diversificació (Europa, Àsia i Estats Units) respecte al centre d'origen (Amèrica del Sud). Tot i que no van trobar diferències significatives entre les àrees geogràfiques (segurament degut als intercanvis de material genètic ocorreguts recentment), el treball de Villand *et al.* (1998) explica les causes d'aquesta reducció de la variabilitat. Mazzucato *et al.* (2008) van trobar resultats semblants.

Aquesta reducció de la variabilitat genètica deu haver tingut importants conseqüències en l'estructura de les poblacions cultivades, doncs alguns autors sostenen que “els tomàquets que van ser introduïts a Europa inicialment pels exploradors espanyols van proporcionar tota la base genètica dels cultivars moderns, per la qual cosa els cultivars actuals europeus i nord-americans són altament similars” (Foolad, 2007). No obstant, si ens fixem amb les denominacions que va tenir a la seva arribada el tomàquet, sembla clar que una certa variabilitat per caràcters agronòmics i morfològics va arribar inicialment a Europa, donat que existeixen referències de tomàquets de diversos colors<sup>11</sup>, formes i comportaments agronòmics<sup>12</sup> (Figura 1.8).

Amb l'adaptació del cultiu a les diferents regions europees, aquests materials van començar un procés de diversificació degut a l'adaptació a les diferents condicions agroclimàtiques i culturals (gastronòmiques). En aquest procés de selecció-diferenciació es va prestar una especial atenció a les característiques organolèptiques (Carbonell-Barrachina *et al.*, 2006). El fet de què el tomàquet penetrés en la gastronomia europea com un producte que donava sabor i color a la cuina (inicialment era majoritàriament preparat en salsa per fer més apetitosos els plats (Laterrot i Philouze, 2003)) segurament va accentuar la selecció de variants amb una elevada qualitat organolèptica. És a dir, com que els agricultors no consideraven el tomàquet una component de la base alimentària<sup>13</sup>, sinó un complement per donar sabor als plats, es devien afavorir aquelles variants que millors propietats organolèptiques presentaven, tot mantenint una pressió de selecció positiva per les variants amb un cert nivell de producció i de resistència als estressos biòtics i abiòtics de cada regió. Aquest procés va donar lloc a una multitud de varietats locals i són l'origen del que actualment anomenem les varietats tradicionals de tomàquet.

---

<sup>11</sup> Les denominacions francesa (*pomme d'or*), italiana (*pommodoro*) o alemanya (*golden apfeln*) fan referència a variants de color groc. Alhora Mattioli (1544) ja citava fruits de color vermell i groc.

<sup>12</sup> Segons Laterrot *et al.* (2003) al Catàleg de Vilmorin-Andrieux (any 1856) es feia referència a set varietats de tomàquet amb precocitats, formes, colors i hàbits de creixement diferents: *rouge hâtive*, *rouge grosse*, *jaune grosse*, *rouge ronde*, *poire*, *petite jaune*, *cerise*.

<sup>13</sup> La base alimentària a les regions europees de la conca mediterrània a l'època moderna (s. XVI-XVIII) estava composta essencialment pel *forment* (blat tendre), l'oliva (*Olea europea* L.), la carn i els derivats d'ovella (*Ovis aries* L.) i de cabra (*Capra aegagrus hircus* L.), el peix i el pop (*Octopus vulgaris* Cuvier), a vegades acompanyats de vi, ametlles (*Prunus dulcis* Mill.), figues (*Ficus carica* L.) i taronges (*Citrus sinensis* Osb.) (Morineau, 1996).



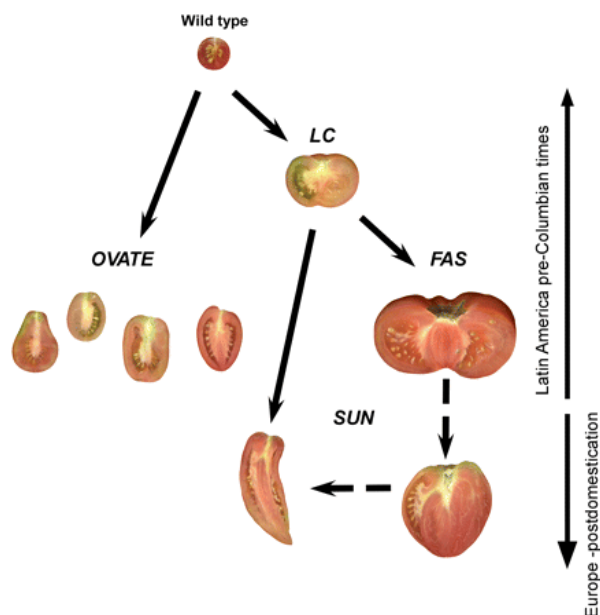


**Figura 1.8.** Primeres representacions del tomàquet a Europa: *a dalt a l'esquerra*, Fuchs (inèdit) codex 11 122, 2 (3), p.161, il·lustració d'Albrecht Meyer, datada entre 1549 i 1556 (extret de Daunay *et al.* (2007)); *a dalt a la dreta*, Mattioli i Camerarius (1590); *a baix*, varietats fortament *acostellades* de tomàquet cultivades al segle XVIII a Espanya, pintura de Luis Meléndez (1772).

Europa (especialment Espanya, Itàlia i Grècia) és considerada com el segon centre de diversificació del tomàquet, i la regió a partir de la qual el tomàquet es va difondre a la resta del món (Àsia, Nord-Amèrica, Àfrica) (Rick, 1976). Així doncs, i considerant els consecutius colls d'ampolla en l'evolució del tomàquet cultivat, la gran abundància de varietats tradicionals encara cultivades en moltes regions del món tindrien el seu origen en un nombre reduït de varietats exportades des del centre de domesticació. Tot i això, s'observa un elevat grau de diversitat morfològica entre les diverses varietats tradicionals. Aquesta singularitat de les varietats tradicionals cultivades en les diferents àrees geogràfiques sembla especialment important pels caràcters relacionats amb l'ús culinari i el perfil sensorial.

Tot i que des del punt de vista de l'evolució molecular, 300 anys de divergència entre el centre de domesticació i els centres de diversificació és un període de temps exigü (Labate *et al.*, 2011), alguns estudis mostren com en el transcurs d'aquest procés han ocorregut variacions genètiques majors afectant a la qualitat del tomàquet.

Per exemple Rodriguez *et al.* (2011) han descrit que la mutació en el locus SUN va ocórrer durant el procés de diversificació del tomàquet a Europa (Figura 1.9). SUN codifica per una proteïna reguladora del creixement del fruit i resulta en fruits piriformes (Xiao *et al.*, 2008). De fet nombroses varietats tradicionals europees presenten els fruits piriformes o allargats, com *p.e.* les *Cuore di Bue* i *A pera Abruzzese* italianes (Mazzucato *et al.*, 2008; Mazzucato *et al.*, 2010), *Pera de Girona* i *De la Pera* espanyoles (Ruiz *et al.*, 2005a; Ruiz *et al.*, 2005b; Ruiz *et al.*, 2005c) i algunes varietats tradicionals gregues (Terzopoulos i Bebeli, 2008). A més sembla que durant la diversificació diferents mutacions afectant a caràcters organolèptics haurien estat seleccionades pels agricultors. A la Taula 1.1 es proposa una llista de les mutacions més importants que suposadament han estat seleccionades en aquest procés, tant a Europa com a Amèrica del Sud. La major part d'aquestes mutacions afecten a caràcters visibles del fruit (color, forma) o estan relacionats amb el seu ús (conservació), per la qual cosa els agricultors les haurien mantingut en les seves poblacions cultivades senzillament fent una selecció per les plantes manifestant aquests caràcters (*true type*), pràctica habitual dels agricultors en varietats tradicionals (Zeven, 2002).



**Figura 1.9.** Evolució de la morfologia del fruit del tomàquet. Les mutacions en els locus LC (fruits esfèrics i plans), OVATE (fruits el·lipsoïdes) i FAS (fruits aplanats i multiloculars) es van produir durant les primeres fases de la domesticació. La mutació en el locus SUN (fruits allargats i piriformes) es va produir a Europa durant el procés de diversificació (Rodriguez *et al.*, 2011).

Reproduït amb el permís de l'American Society of Plant Biologists (nº llicència: 10828373) des de Rodriguez *et al.* (2011) Distribution of SUN, OVATE, LC, and FAS in the tomato germplasm and the relationship to fruit shape diversity. *Plant Physiology* 156:275-285.

Els canvis produïts en la morfologia del fruit durant el procés de la diversificació i origen de les varietats tradicionals pot ser que hagin tingut un efecte sobre el perfil sensorial del tomàquet cultivat a Europa? Aquesta hipòtesi és sostinguda per Gentilcore (2009), segons el qual un canvi en la relació dolçor/acidesa dels tomàquets estaria en l'origen d'una major acceptació d'aquesta espècie a partir del s.XVIII. Segons l'autor als inicis (s.XVI) els tomàquets eren bastant àcids, la qual cosa limitava el seu ús a la cuina; posteriorment sembla

que es van cultivar varietats amb major dolçor, com queda descrit en un tractat agrícola italià de 1796 on s'exposa que les noves varietats cultivades tenen un “*tast més delicat i són menys àcides*” (Anònim, 1796). Així doncs, l'increment de la dolçor va jugar un paper important en l'acceptació del tomàquet al s.XVIII? És difícil sostenir aquesta hipòtesi, atenent a l'abundància de cites del tomàquet que apareixen a la literatura gastronòmica europea als segles XVI i XVII (Dondarini, 2010), senyal de què ja existia una gran acceptació. Alhora és quasi impossible desxifrar si aquest canvi existeix, així com interpretar si es produeix a nivell genètic dins les poblacions cultivades a Europa o bé és degut a factors ambientals (*p.e.* la collita dels fruits a estadis més madurs), o simplement és la conseqüència de què es van importar nous genotips d'Amèrica.

El que sembla clar és que la diversitat morfològica que trobem en les varietats tradicionals europees, i en acord amb el treball de Rodriguez *et al.* (2011), seria fruit de la selecció realitzada pels agricultors. Aquesta selecció es basaria en: (a) noves combinacions gèniques degudes a encreuaments espontanis i processos de recombinació genètica, i (b) variació generada *de novo* a partir de mutacions a l'atzar (*p.e.* *sun*). Aquest procés deu haver afectat, segurament, a les característiques organolèptiques de les varietats tradicionals, les quals arriben fins a la nostra era com varietats amb una gran diversitat de gustos, aromes i textures conseqüència de la diversitat genètica present en l'espècie cultivada i la diversitat cultural dels seleccionadors.

**Taula 1.1.** Alguns exemples de mutacions probablement seleccionades pels agricultors durant la post-domesticació.

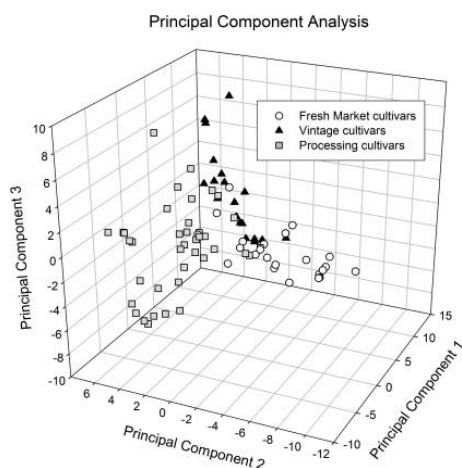
Mutació	Fenotip	Origen	Referència
<i>sun</i>	Morfologia allargada del fruit	Identificat com una mutació ocorreguda a Europa durant la post-domesticació	(Xiao <i>et al.</i> , 2008; Rodriguez <i>et al.</i> , 2011)
<i>alc</i> (alcobaça)	Inhibeix la maduració	Descrit en una varietat tradicional de Portugal	(Almeida, 1961)
<i>frm</i> (firm ripening mutant)	Inhibeix la maduració	Present en cultivars tradicionals cultivats a Brasil	(Schuelter <i>et al.</i> , 2002)
<i>nor</i> (non-ripening)	Inhibeix la maduració	Descrit com un tomàquet de llarga conservació cultivat a les regions italianes de Campània i Apulia	(Tigchelaar <i>et al.</i> , 1973; Soressi, 1975)
<i>y</i> (yellow)	Color rosa del fruit (epidermis incolora)	Present en nombroses varietats tradicionals	(Ballester <i>et al.</i> , 2010)
<i>at</i> (apricot)	Inhibeix la síntesi de licopè	Mutació present en una varietat cultivada a Puebla (Mèxic)	(Jenkins i Mackinney, 1955)
<i>t</i> (tangerine)	Color taronja del fruit (valors elevats de $\zeta$ -carotens i poliens)	-	(Zechmeister <i>et al.</i> , 1941)
<i>r</i> (yellow flesh)	Color groc del fruit (valors baixos de poliens i carotens)	-	(Fray i Grierson, 1993)

### 1.8.3. La millora genètica moderna

Els programes de millora genètica del tomàquet van començar als anys 1920 als EEUU. Inicialment aquests programes estaven orientats a seleccionar genotips adaptats a la creixent producció de tomàquet d'indústria (Doré i Varoquaux, 2006). La descripció del fenomen de l'heterosi en les varietats híbrides als anys 1930 (Alabouette i Titard, 1933; Ashby, 1937) va obrir la porta a la producció de llavor F1. Deu anys més tard (1946)

sortia al mercat el primer híbrid comercial, *Single Cross* (Dorst, 1946). A partir d'aquí els híbrids han anat desplaçant les línies més o menys fixades que es cultivaven fins aleshores, i paulatinament els agricultors han anat substituïnt les seves línies (varietats tradicionals) per materials comercials (generalment F1).

Donada la importància econòmica del cultiu i l'ampli coneixement sobre la base genètica de nombrosos caràcters d'interès, el tomàquet és el vegetal en el qual els esforços de millora han estat més intensos (Bai i Lindhout, 2007). La millora ha estat orientada cap a dos grans segments de mercat: cultiu extensiu per a indústria i cultiu intensiu per a consum en fresc. Cadascun dels segments presenta els seus propis ideotips, fet que ha provocat una divergència a nivell de fons genètic entre els dos grups cultivats (Rodríguez *et al.*, 2011); (Sim *et al.*, 2011) (Figura 1.10). Respecte al tomàquet d'indústria, els principals esforços s'han centrat en disminuir els costos de producció augmentant el rendiment i adaptant els cultivars a la mecanització dels cultius. La introgressió dels gens *sp* (self-pruning) [creixement determinat] (MacArthur, 1932), *j* i *j-2* (*jointless pedicel*) [absència de la capa d'abscisió en el peduncle, permetent la recol·lecta del fruit sense calze ni peduncle] (Mao *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2000) ha permès incrementar l'eficiència en la recol·lecció. Paral·lelament els esforços s'han centrat en millorar el contingut en sòlids solubles del fruit, la viscositat i la intensitat de color vermell (Grandillo *et al.*, 1999b; Duman *et al.*, 2005).



**Figura 1.10.** Els diferents ideotips dels programes de millora destinats al mercat de tomàquet per consum en fresc i tomàquet d'indústria han comportat la diferenciació genètica de les poblacions cultivades. Les varietats tradicionals ocuparien una posició intermèdia. Gràfic de l'Anàlisi de Components Principals a partir dels resultats obtinguts amb diferents marcadors moleculars (Polimorfisme de nucleòtids simples (SNP) i Microsatèl·lits (SSR)).

Reproduït amb el permís de Oxford University Press (nº llicència 2796970992642) des de Robbins *et al.* (2011) Mapping and linkage disequilibrium analysis with a genome-wide collection of SNPs that detect polymorphism in cultivated tomato. *Journal of Experimental Botany* 62:1831-1845.

La millora genètica del tomàquet destinat al consum en fresc s'ha centrat principalment en el rendiment, la conservació en postcollita, la fermesa del fruit i els aspectes relacionats amb la morfologia del fruit (Foolad, 2007). Diferents mutacions monogèniques han estat emprades en aquests programes de millora, *p.e. u* (uniform ripening) [absència de coll verd] (Kinzer *et al.*, 1990) i *rin* (ripening inhibitor) [inhibició de la maduració] (Vrebalov *et al.*, 2002).

Paral·lelament, les varietats comercials (tant de tomàquet d'indústria com per consum en fresc) han anat incorporant nombrosos gens conferint resistència a plagues i malalties. La major part d'ells provenen d'espècies emparentades, essent el tomàquet l'espècie cultivada a la qual se li han transferit més gens de resistència provinents del genoma de les espècies emparentades (Hajjar i Hodgkin, 2007). Actualment la major part de varietats comercialitzades contenen gens transferits des de *S. peruvianum* L. (*Tm-1* i *Tm-2* [resistència a TMV], *Sw-5* [resistència a TSWV], *Frl* [resistència a *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*], *Mi* i *Mi-3* [resistència a diferents espècies de *Meloidogyne*]), *S. pimpinellifolium* (*I* i *I-2* [resistència a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races 0 i 1], *Ve* [resistència a *Verticillium dahliae*], *Cf-2*, *Cf-5*, *Cf-6* i *Cf-9* [resistències a diferents races de *Cladosporium fulvum*], *Sm* [resistència a *Stemphylium* sp.] i *Pto* [resistència a *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*]), *S. pennelli* (*I-3* [resistència a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* raça 2]), *S. chilense* Dunal (*Ty-1* i *Ty-3* [resistència TYLCV]) i *S. habrochaites* (*Ty-2* [resistència a TYLCV]) (Robertson i Labate, 2007).

Tot i que els programes de millora genètica generalment han emprat un número reduït de materials (Chen *et al.*, 2009), la presència d'introgessions provinents d'espècies emparentades hauria provocat un increment de la variabilitat genètica en l'espècie cultivada (Williams i Stclair, 1993; Park *et al.*, 2004; Sim *et al.*, 2009). Alhora, en el transcurs dels programes de selecció i millora, així com de manera aleatòria en els camps de cultiu de les varietats comercials, han aparegut mutacions afectant a caràcters importants. Aquestes han estat identificades pels *milloradors* i posteriorment introgressades en les varietats comercials (Taula 1.2). Un bon exemple d'això és la mutació *rin*, apareguda a la F4 d'un programa de millora desenvolupat per la Cornell University l'any 1968 (Robinson i Tomes, 1968). Aquesta mutació és molt emprada per allargar la postcollita de les varietats comercials tipus *long life*.

Els esquemes de millora aplicats al tomàquet haurien provocat, doncs, importants canvis en l'estructura genètica (*p.e.* introgressió de gens provinents d'espècies emparentades, generalització de l'ús d'híbrids) i el fenotip de les varietats cultivades (*p.e.* creixement determinat en el tomàquet d'indústria, presència generalitzada del gen conferint una maduració uniforme del fruit). Alhora aquests processos de millora haurien tingut un efecte negatiu sobre la qualitat organolèptica, provocant una important reducció del valor sensorial del tomàquet (Goff i Klee, 2006; Causse *et al.*, 2007b). En aquest context la qualitat organolèptica del tomàquet hauria anat disminuint a mesura que els programes de millora emfatitzaven el rendiment, la fermesa i homogeneïtat del fruit i la resistència a plagues i malalties.

De fet, com ja s'ha comentat, és àmpliament acceptat que la millora per rendiment tendeix a provocar una pèrdua de la qualitat organolèptica en el tomàquet. Això és degut, amb tota probabilitat, a l'anomenat efecte dilució (Davis, 2009), pel qual existeix una correlació negativa entre el rendiment i la concentració de determinats compostos relacionats amb la qualitat organolèptica (Tandon *et al.*, 2003; Lecomte *et al.*, 2004). Respecte als sucres, aquest procés ha estat posat de manifest des de fa 50 anys: Emery i Hunger (1970) i Augustine (1975) van descriure una correlació negativa entre la producció i el contingut en sòlids solubles (revisat a Stevens i Rudich (1978)), el 65% dels quals són els sucres responsables de la dolçor (Balibrea *et al.*, 2006). Els sucres presents en el tomàquet tenen el seu origen en el procés de fotosíntesi que es realitza a les fulles, essent la sucrosa el major fotoassimilat que es transporta al fruit. La quantitat de fotoassimilats que

arriba als fruits determina, doncs, la seva concentració. Per tant com més quantitat de fruit té una planta és d'esperar una menor concentració de sucres en el fruit, senzillament perquè la competència pels fotoassimilats és superior (Bertin *et al.*, 2000; Beckles, 2012). Així, la millora per rendiment ha de tenir un impacte negatiu sobre la qualitat organolèptica. Per aquesta raó l'aclarit de fruits ha estat proposat com una estratègia per incrementar la concentració de sòlids solubles (Gautier *et al.*, 2001).

**Taula 1.2.** Alguns exemples de mutacions ocorregudes en el transcurs de programes de millora genètica del tomàquet i/o introgressades des dels ancestres silvestres.

Mutació	Fenotip	Origen	Referència
<i>Del</i> (delta)	Coloració taronja del fruit (valors elevats de $\delta$ -carotens)	Introgressat des de <i>S. habrochaites</i>	(Porter i Zscheile, 1946)
<i>rin</i> (ripening inhibitor)	Inhibeix la maduració	Aparegut a la F4 d'un programa de millora desenvolupat per la Cornell University	(Robinson i Tomes, 1968)
<i>Nr</i> (never ripe)	Inhibeix la maduració	Identificat a la Universitat de Califòrnia en un fruit quimèric, part del qual era heterozigot pel gen <i>Nr</i>	(Rick i Butler, 1956)
<i>B</i> (beta)	Coloració groga del fruit (valors elevats de $\beta$ -carotens)	Introgressat des de <i>S. habrochaites</i>	(Lincoln i Porter, 1950)
<i>sp</i> (self-pruning)	Creixement determinat	Aparegut espontàniament a Florida l'any 1915	(MacArthur, 1932)
<i>Cnr</i> (colorless non ripening)	Inhibeix la maduració	Aparegut espontàniament en una població comercial	(Thompson <i>et al.</i> , 1999)
<i>hp-1</i> (high-pigment)	Elevat contingut en licopè	Aparegut espontàniament l'any 1917 a New Jersey	(Reynard, 1956)
<i>hp-2</i> (high-pigment)	Elevat contingut en licopè	Mutació induïda mitjançant <i>etil metà sulfonat</i> (EMS) en un genotip de la varietat San Marzano	(Soressi, 1975)
<i>dk</i> (dark green)	Elevat contingut en licopè i $\beta$ -carotè. Major fermesa del fruit.	Aparegut en una població comercial del cv. 'Munatant'	(Konsler, 1973)
<i>og<sup>c</sup></i> (old gold crimson)	Increment de la coloració vermella del fruit (relació licopè/ $\beta$ -carotè elevada)	Detectat en la progènie d'encreuaments de varietats Filipines	(Thompson <i>et al.</i> , 1965)

D'altra banda alguns gens emprats en nombroses varietats comercials semblen tenir efectes negatius sobre la qualitat. És el cas del gen *rin* (ripening inhibitor). Aquest gen inhibeix o alenteix nombrosos processos relacionats amb la maduració (disminució de la síntesi d'etilè provocant un retard del màxim climàtic en la respiració i una menor acció de l'enzima poligalacturonasa (PG)) (Herner i Sink, 1973; Buescher *et al.*, 1976). La major conservació dels fruits amb el gen *rin* en homozigosi (*rin/rin*) i en heterozigosi (*rin/Rin*) (per una revisió vegeu Garg *et al.* (2008)) ha fet que aquesta mutació hagi estat emprada en nombrosos programes de millora de tomàquet (varietats anomenades *long life* (llarga vida)) (Paran i van der Knaap, 2007). El comportament anormal respecte a la degradació de la clorofil·la, la síntesi de carotens i d'altres processos associats amb la maduració (Sink Jr *et al.*, 1974) fa que els fruits de les varietats *long life* hagin estat descrits com insípids (Hobson, 1980; Causse *et al.*, 2003). Això és degut a una menor concentració en sucres (Hobson, 1980; Causse *et al.*, 2003),  $\beta$ -carotè (Hobson, 1980; Kuzymenskii, 2007), licopè (Causse *et al.*, 2003) i nombrosos

volàtils importants en el perfil aromàtic del tomàquet (Kopeliovitch *et al.*, 1982; McGlasson *et al.*, 1987; Causse *et al.*, 2003; Kovacs *et al.*, 2009).

Un altre procés que pot haver tingut un efecte sobre la qualitat organolèptica és la introducció de gens de resistència provinents de les espècies silvestres emparentades. La introgressió d'aquests gens ha estat relacionada en alguns casos amb efectes negatius sobre la qualitat organolèptica. Per exemple Tanksley *et al.* (1998) van descriure efectes negatius associats amb la introgressió del gen *Tm-2* provinent de *S. peruvianum*: fruits més tous, un menor pH i una cicatriu pistil·lar superior. En aquest context, segons Ruiz *et al.* (2006), la pobra qualitat organolèptica dels cultivars moderns s'explicaria, en part, pels nombrosos segments introgressats des de les espècies silvestres.

Encara que amb una intensitat menor, d'altres gens presents en les varietats modernes semblen tenir un impacte sobre la qualitat: Emery *et al.* (1970) i Brecht *et al.* (1976) van descriure un efecte negatiu de la mutació *sp* sobre la concentració de sòlids solubles; Aubert *et al.* (2003) exposen que el coll verd present en nombroses varietats tradicionals aporta un lleuger sabor herbaci i amarg, el qual s'hauria perdut amb la introducció del gen *u* (conferint una maduració homogènia del fruit). La mutació *nor*, amb efectes similars a *rin* sobre la conservació i la qualitat (Garg *et al.*, 2008), s'ha començat a emprar per augmentar la conservació del tomàquet tipus *cherry* (Paran i van der Knaap, 2007).

En resum, els processos de millora realitzats des de mitjan segle XX han tingut un impacte negatiu sobre la qualitat organolèptica del tomàquet. L'escassa presència d'atributs de qualitat organolèptica en els ideotips dels programes de millora, així com l'acumulació de determinats gens amb un efecte negatiu, en serien les principals causes. Aquest fet ha comportat que les varietats modernes (especialment les de tipus *long life*) siguin percebudes pels consumidors com poc saboroses (Jones, 1986) i poc aromàtiques (Baldwin *et al.*, 1998; Causse *et al.*, 2003). El perfil sensorial marcadament àcid de les varietats modernes (Causse *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2006) és segurament un dels principals atributs jutjats negativament pels consumidors. Un exemple d'això és que els consumidors prefereixen el gust i aroma dels tomàquets *cherry*, principalment perquè es caracteritzen per una elevada dolçor (Hobson i Bedford, 1989). No obstant, la introducció del gen *nor* per allargar la vida d'aquest tipus de tomàquet (Paran i van der Knaap, 2007) està provocant, en els darrers temps, una disminució de la seva acceptació per part dels consumidors. Per aquest motiu Tandon *et al.* (2003) suggereixen que incrementar la dolçor, mantenint uns nivells d'acidesa acceptables, ha de ser un objectiu prioritari dels programes de millora.

### **1.9. Incrementar la qualitat organolèptica: estratègies de millora**

La filogènia del perfil sensorial durant l'evolució del tomàquet cultivat es pot resumir, doncs, en tres etapes: (i) durant la domesticació s'hauria realitzat una pressió de selecció positiva per qualitat organolèptica. No obstant, la dràstica disminució de la variabilitat genètica i la correlació negativa entre determinats caràcters organolèptics i els caràcters que configuren la síndrome de la domesticació haurien provocat que es perdessin gens interessants. (ii) Durant el procés de la diversificació s'haurien seleccionat noves combinacions gèniques (partint d'una base genètica molt estreta) i noves mutacions amb una elevada singularitat sensorial, fet que

hauria ampliat el rang de perfils sensorials existents en el tomàquet. Aquests materials han arribat fins a la nostra era en forma d'allò que anomenem les varietats tradicionals. Finalment (iii) els esquemes de millora genètica aplicats des de mitjan segle XX, haurien provocat una important millora del comportament agronòmic i en postcollita de les varietats, però en detriment de la qualitat organolèptica interna.

Atenent a aquestes consideracions el germoplasma més interessant per recuperar el sabor del tomàquet seria les espècies silvestres i les varietats tradicionals. El primer fa referència als gens conservats en el pool genètic dels ancestres silvestres (Fernie *et al.*, 2006; Osborn *et al.*, 2007). Actualment nombrosos QTL relacionats amb el contingut en sòlids solubles (Bernacchi *et al.*, 1998; Fulton *et al.*, 2002), la relació fructosa/glucosa (Levin *et al.*, 2000) o el contingut en àcids (Yates *et al.*, 2004) han estat detectats en les espècies silvestres, i els primers intents per reincorporar-los en el tomàquet cultivat ja han estat realitzats (Frery *et al.*, 2003; Yates *et al.*, 2004).

Un segon punt de partida són les varietats tradicionals. Aquests materials, encara cultivats pels horticultors a una escala local, són un material d'elit donat que presenten un fons genètic més proper que les espècies silvestres. Les varietats tradicionals mostren una gran diversitat per caràcters relacionats amb l'aroma, el gust i la textura (Andreakis *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2005a; Ruiz *et al.*, 2005c; Carbonell-Barrachina *et al.*, 2006), fet que les fa especialment interessants per als programes de millora. Per exemple Causse *et al.* (2003) van identificar que els híbrids entre varietats tradicionals i modernes eren molt ben valorats pels consumidors, especialment pels caràcters relacionats amb la textura. A part del seu ús en els programes de millora, les varietats tradicionals tenen un valor comercial *per se*, doncs mantenen, a escala local, una gran estima per part dels consumidors, ja que estan intrínsecament associades a la cultura gastronòmica de cada territori.

#### **1.10. Les varietats tradicionals de tomàquet a la conca mediterrània: tomàquet de *Montserrat*, *Pera de Girona* i *Penjar*, casos emblemàtics de Catalunya**

La conca mediterrània (especialment Espanya, Itàlia i Grècia) constitueix un centre de diversificació del tomàquet. Nombroses varietats tradicionals són cultivades per horticultors professionals i amateurs, arribant als mercats sota segells de productes locals i d'elevada qualitat. Aquest és el cas del tomàquet *Corbarino* cultivat a la regió de Campania (Itàlia) (Andreakis *et al.*, 2004), el tomàquet *A pera Abruzzese* a la regió d'Abruzzo (Itàlia), *Canestrino di Lucca* a la Toscana (Itàlia) i *Cuore di bue di Albenga* a la Liguria (Itàlia) (Mazzucato *et al.*, 2010), el tomàquet *San Marzano*, *Vesuviano* i *Sorrento* cultivats al sud d'Itàlia (Sinesio *et al.*, 2007), o els tomàquets *Muchamiel* i *De la Pera* cultivats als alentorns de València (Espanya) (Carbonell-Barrachina *et al.*, 2006).

En comparació amb d'altres espècies cultivades, el tomàquet és, segurament, un dels cultius en què s'han preservat més varietats tradicionals. En la major part dels casos aquestes varietats són cultivades en superfícies destinades a l'autoconsum. L'abundància de varietats tradicionals de tomàquet es deu, probablement, a la important diferència organolèptica existent amb les varietats modernes, provocant una *sobrevaloració* d'aquests materials en comparació amb varietats tradicionals d'altres espècies cultivades.



La rellevància de les varietats tradicionals de tomàquet al sud d'Europa ha centrat l'atenció de diversos investigadors, els quals han estudiat la variabilitat genètica i fenotípica dels materials. A la Taula 1.3 s'enumeren els articles científics publicats en revistes indexades al Journal Citation Reports (JCR) relacionats amb les varietats tradicionals d'Espanya, Itàlia i Grècia. Com es pot comprovar aquest subjecte és d'interès recent, doncs des de l'any 2000 s'han publicat, com a mínim, 28 articles sobre la temàtica.

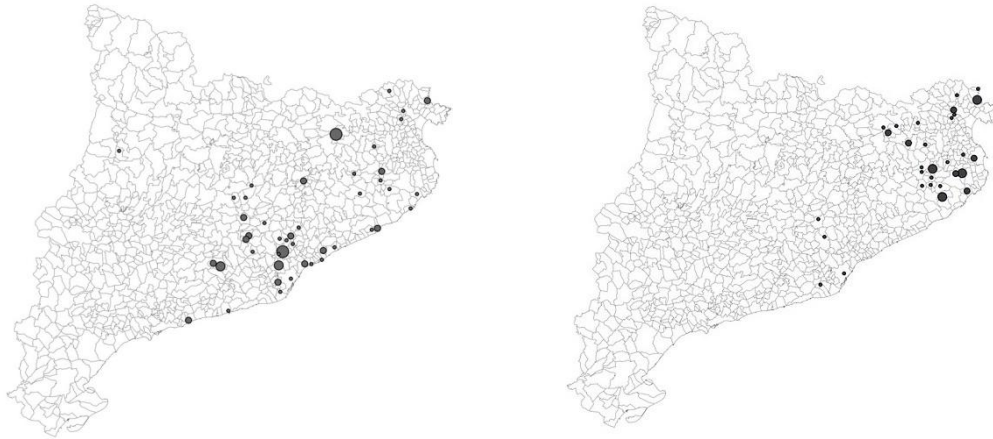
A Catalunya trobem nombroses varietats tradicionals de tomàquet. La tradició popular fa esment de les varietats *Esquenaverd*, *Montserrat*, *Pometa*, *Albercoc*, *del Benac*, *Pera de Girona*, *de Penjar*, *Massís de conserva*, *Pare Benet*, *Francès*, *Marmande*, *del Pebrot*, *Tres caires*, *Quatre morros*, *Nana de la Geltrú*, *de la Creu*, *del País*, *Palosanto*, *Mamella de Monja*, *Cor de Bou* i moltes altres. En general els noms fan referència als trets morfològics diferencials amb els quals els agricultors identifiquen cada varietat (p.e. *Esquenaverd* indicaria presència de coll verd). No obstant, es coneix poc l'estructura d'aquestes poblacions cultivades, així com l'abundància de sinonímies indicant varietats anàlogues.

El tomàquet de *Montserrat* (i la seva variant morfològica *Pera de Girona*) i el tomàquet de *Penjar* són les que gaudeixen de més prestigi al mercat. El tomàquet de *Montserrat* es caracteritza per la forma externa (forma irregular i aplanada) i interna (multilocular i buida) dels fruits. Aquesta varietat presenta, generalment, els fruits de mida gran i coloració rosada (presència del gen *y* (Ballester *et al.*, 2010)). Aquests trets diferencials fan que la varietat també prengui les denominacions *Rosa*, *Rosa buit*, *Rosa gros*, *Buit*, *Rosa Montserrat*, *Buida d'amanir* o *d'Olesa de Montserrat*, tot i que el nom *Montserrat*<sup>14</sup> és el més comú. La varietat és cultivada per tota Catalunya, tot i que de manera més àmplia a la Catalunya Central i entorns de Barcelona (especialment al Maresme) (Figura 1.11). Per contra a les comarques gironines el cultiu de la varietat *Montserrat* és molt menor, en favor d'una varietat que té molt més renom: *Pera de Girona* (Figura 1.11). De fet ambdues varietats presenten uns trets morfològics molt semblants, i *Pera de Girona* podria ser una variant del tomàquet *Montserrat*. No obstant els consumidors<sup>15</sup> argumenten que el tomàquet *Pera de Girona* presenta un perfil sensorial diferent al tipus *Montserrat*, i aquest és el motiu pel qual es cultiva una varietat o una altra. Ambdues varietats són àmpliament comercialitzades en el mercat, especialment durant l'època d'estiu, arribant a preus entre 3 i 7 €/kg.

---

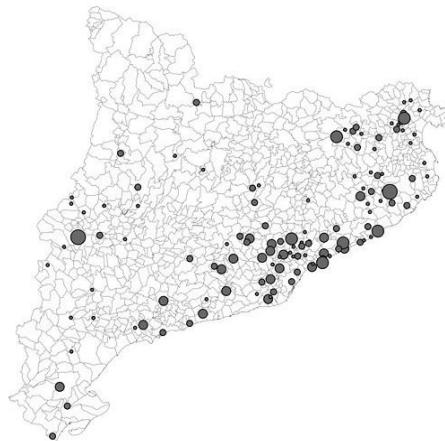
<sup>14</sup> La denominació *Montserrat* tindria el seu origen en l'analogia entre les formes arrodonides de la muntanya de Montserrat i el fort *acostellat* que presenten els fruits d'aquesta varietat.

<sup>15</sup> Aquesta apreciació és resultant de les entrevistes realitzades pels investigadors de la Fundació Miquel Agustí en el transcurs de les expedicions de col·lecta de germoplasma.



**Figura 1.11.** Distribució geogràfica de les entrades de la varietat *Montserrat* (esquerra) i *Pera de Girona* (dreta) conservades als Bancs de Germoplasma de Catalunya<sup>16</sup>.

**Nota:** la mida del punt és proporcional al número d'entrades col·lectades a cada municipi.



**Figura 1.12.** Distribució geogràfica de les entrades de la varietat *Penjar* conservades als Bancs de Germoplasma de Catalunya<sup>17</sup>.

**Nota:** la mida del punt és proporcional al número d'entrades col·lectades a cada municipi.

L'altra varietat amb renom a Catalunya és el tomàquet de *Penjar* (sinonímies: *de Guardar*, *Tomacó*, *d'Hivern*, *de Suçar*). Aquesta varietat és especialment emprada per fer el pa amb tomàquet, una de les preparacions culinàries més populars a Catalunya. El tomàquet de *Penjar* presenta unes característiques que el fan especialment identificable: la seva extraordinària conservació i la mida reduïda del fruit. La varietat *Penjar* pot presentar una conservació superior als 6 mesos (en funció dels genotips i de les condicions de pre- i postcollita). Aquesta varietat és cultivada durant el cicle d'estiu (amb produccions que van de juliol a setembre) i generalment consumida durant l'hivern. Antigament era, conjuntament amb les conserves, la manera de tenir tomàquet durant els mesos de fred. El segon tret diferencial de la varietat *Penjar* és la mida reduïda del fruit

<sup>16</sup> SIGMA-Consorti de medi ambient i salut pública de la Garrotxa, ESPORUS-Centre de conservació de la biodiversitat cultivada, Les Refardes-Gaiadea, Jardí Botànic Marimurtra i Banc de Germoplasma de la Fundació Miquel Agustí.

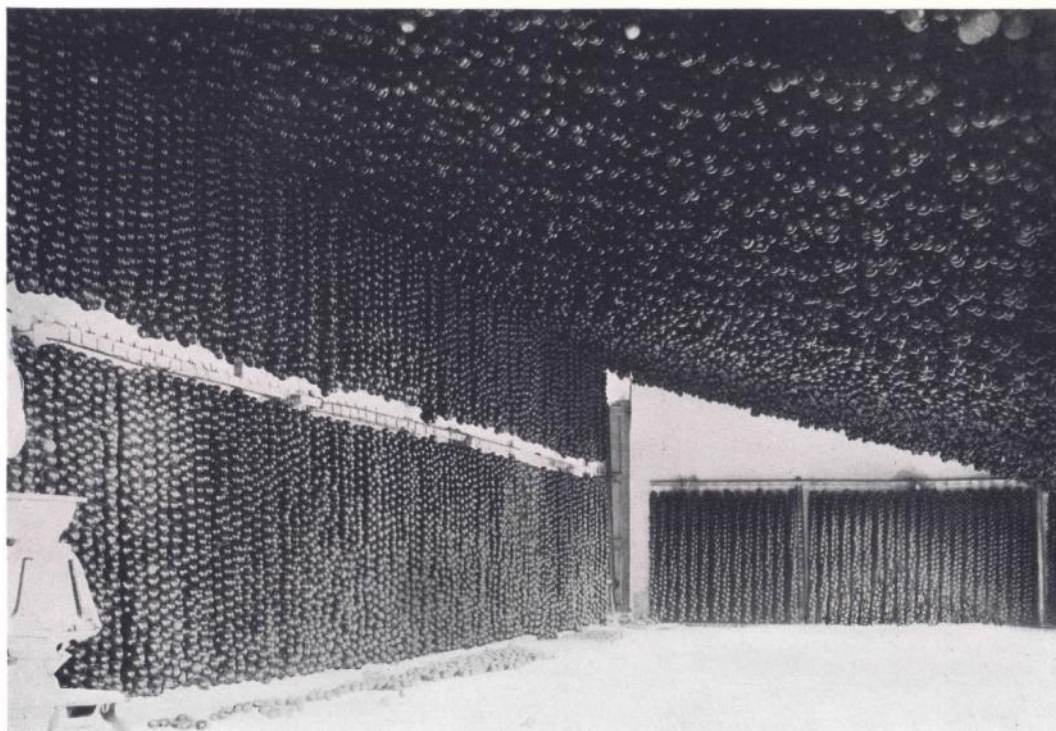
<sup>17</sup> *Ibid.*

(<100g). Per contra, per la resta de caràcters morfològics del fruit existeix una forta heterogeneïtat. Aquesta varietat presenta una distribució més àmplia que el tomàquet *Montserrat/Pera de Girona*, essent cultivada a tota Catalunya (Figura 1.12) i també a la Comunitat Valenciana (Nuez, 1996) i les Illes Balears, on pren el nom de *Tomàtiga de Ramellet* (Galmes *et al.*, 2011)<sup>18</sup>.

Aquestes característiques especials (mida del fruit, conservació, usos culinaris) han atret l'atenció de diversos investigadors des d'inicis del s.XX. Especialment interessant és la detallada descripció que va fer David Fairchild sobre les produccions de tomàquet de *Ramellet* a Banyalbufar (Mallorca) (Fairchild, 1927). En l'article, publicat al *Journal of Heredity*, l'autor es declara meravellat per tota la tradició que envolta el cultiu d'aquesta varietat. En la visita a les golfes d'una casa de pagès on es troba amb milers de tomàquets de *Ramellet* curosament penjats del sostre, descriu: "*There were over 100.000 tomatoes hung in the small room and I don't think there were more than 50 on the floor. One hundred thousand tomatoes hung up in a room by their small stems being strung on a thread and only 50 had loosened and fallen! This fact struck me as remarkable [...]*" (Figura 1.13). Segons Fairchild (1927) el tomàquet de *Ramellet* va ser descobert per un pagès de Mallorca al mig d'un bosc 70 anys enrere (vora el 1860). Posteriorment Deffontaines (1960) feia, també, una descripció detallada de les hortes de Banyalbufar i del sistema de producció del tomàquet de *Ramellet*. Segons l'autor l'any 1960 es cultivaven a Banyalbufar un total de 30 ha de tomàquet de *Ramellet*, equivalents a 1.200.000 plantes, i generaven una producció total de 960.000 kg. Descripcions més precises sobre la morfologia del fruit d'aquesta varietat van ser aportades per Garcia (1933) i Casallo *et al.* (1965) (Quadre 2). Més recentment s'ha descrit que la varietat *Ramellet* presenta trets fisiològics diferencials que comporten un cert grau de resistència a la sequera. Segons l'estudi publicat per Galmés *et al.* (2011) això seria degut a una elevada eficiència en l'ús de l'aigua d'aquesta varietat tradicional. Els autors descriuen el tomàquet de *Ramellet* com un fenotip semblant al mutant denominat *Delayed Fruit Deterioration* (DFD) descrit per Saladié *et al.* (2007), la base genètica del qual no ha estat ressenyada en la bibliografia.

---

<sup>18</sup> Actualment aquest patró està canviant, i el tomàquet comercialitzat sota la denominació *Penjar* es troba al mercat els 12 mesos de l'any. Això és degut a l'entrada en el mercat de producte provinent d'Almeria i Xile (*R. Ribot com. pers.*).



DRYING ROOM FILLED WITH "DE RAMALLET" TOMATOES

Figure 4

Over 100,000 tomatoes hung on threads in a drying room at Banyalbufar. Although the thread which strings these tomatoes to the wall and rafters is passed through the delicate stem of each tomato, remarkably few of the fruits actually loosen from their stems and fall. On the floor are shown those which have fallen. I have never seen such a mass of brilliant living tomato color as was presented by this drying room. The ceiling is hung three feet deep with tomatoes.

**Figura 1.13.** Fotografia d'un magatzem de tomàquets de *Penjar*, presa a Banyalbufar l'any 1927 per David Fairchild (Fairchild, 1927).

Reproduït amb el permís de Oxford University Press (nº llicència: 2796971038563) des de Fairchild (1927) The tomato terraces of Banalbufar - An agricultural monopoly built on a single variety of tomato. *Journal of Heredity* 18:245-251.

Tenint en compte la bona acceptació per part dels consumidors, així com el valuós mercat existent actualment entorn el tomàquet de *Montserrat/Pera de Girona* i *Penjar*, aquestes varietats constitueixen una bona oportunitat per consolidar produccions agrícoles d'alt valor afegit. No obstant es desconeix l'estructura genètica de les poblacions cultivades, així com les característiques agromorfològiques i de qualitat organolèptica que atorguen a aquestes varietats el grau de tipicitat valorat pels consumidors. A més es desconeix la raó del particular comportament en postcollita del tomàquet de *Penjar*, així com tampoc s'ha descrit l'evolució dels paràmetres relacionats amb la qualitat organolèptica durant la postcollita, període que sembla jugar un rol determinant en el valor sensorial d'aquesta varietat tradicional. Noves informacions sobre aquests trets han de permetre consolidar i promocionar uns productes agrícoles de marcat accent local i destinats a segments de mercat d'elevada qualitat organolèptica. Darrera aquesta estratègia, i com a objectiu últim d'aquests estudis, es persegueix un augment dels ingressos de determinats models d'explotació agrària.

Quadre 2  
El tomàquet de *Penjar* en la literatura

A la literatura trobem diferents referències del tomàquet de *Penjar* i del *pa amb tomàquet*, preparació culinària estretament vinculada a aquesta varietat. Entre elles destaquem la primera cita existent del *pa amb tomàquet* i tres descripcions de cultivars del tipus *Penjar*.

“Lo que menjarem certa nit,  
Ço és *pa amb oli, amanit*  
*Amb tomaca, e bon profit*  
*S’ha fet de moda. [...]*  
*Madam Adam n’ha menjat,*  
*Judi Gautier molt li ha agradat,*  
*E fins la gran Sarah Bernardt*  
*S’ha fet la llesca”*

Pompeu Gener i Babot, París 1884. Extret de Fàbrega (2011).

“**Ram[è]llet tomatoes.**- *Two outstanding characteristics of the variety are the remarkable uniformity in size and shape of the fruits, and their adherence to the stems, which makes it possible to dry them by hanging them up in strings. [...] I was informed that this variety was discovered somewhere in the forest of the island of Majorca about seventy years ago by a man who lived to see its cultivation become a great industry [...]*” (Fairchild, 1927).

“**Tomate de todo el año o de guardar.**- *Fruto análogo al valenciano, pero más pequeño y con mayor número de pepitas, piel algo asurcada y más pálida. Tomate de buen paladar, utilizado para el consumo directo. Variedad de mucho aguante, lo que permite vender el fruto a buenos precios, mucho después de su recolección*” (García, 1933).

“**De colgar.**- *En la zona de La Maresma (Barcelona) se cultivan distintas variedades de fruto menudo que tienen la característica común de permitir su conservación, después de recolectados maduros, durante una buena temporada; el nombre general “De Colgar” lo reciben por ser ésta la forma de conservarlos, colgados del techo a lo largo de cuerdas, para lo que hay que cortarlos en racimo o con pedúnculo, que permita la operación. Hay diferencias en tamaño y algunos llegan a ser casi medianos, pero la variedad más corriente es de frutos de racimo, como una nuez o poco más de tamaño, de color rojo, piel lisa y dura, redondo, de ápice apuntado muy característico, sin mucha pulpa, y bastante semilla para su tamaño, generalmente con dos lóculos*” (Casallo i Sobrino, 1965).

---

**Taula 1.3.** Literatura rellevant sobre varietats tradicionals cultivades a la conca mediterrània (Espanya, Itàlia, Grècia) (només s'inclouen articles publicats en revistes indexades al JCR).

<b>País</b>	<b>Varietat</b>	<b>Àrea geogràfica</b>	<b>Objectius</b>	<b>Referència</b>
<b>Espanya</b>	11 varietats tradicionals diferents	Albacete, Murcia, Jaén	Fenotipat per caràcters relacionats amb la qualitat	(Gomez et al., 2001)
	<i>Muchamiel</i> i <i>De la Pera</i>	Comunitat Valenciana	Estudi de les diferències en el perfil aromàtic	(Ruiz et al., 2005a)
	<i>Muchamiel</i> , <i>De la Pera</i> , <i>Moruno</i> , <i>Valenciano</i> i <i>Flor de Baladre</i>	Comunitat Valenciana	Anàlisi de la variabilitat genètica	(Ruiz et al., 2005b)
	<i>Muchamiel</i> i <i>De la Pera</i>	Comunitat Valenciana	Estudi de la variabilitat per caràcters relacionats amb la qualitat i el contingut en micronutrients	(Ruiz et al., 2005c)
	<i>Muchamiel</i> , <i>De la Pera</i> i <i>Moruno</i>	Comunitat Valenciana	Comparació entre diferents marcadors moleculars per avaluar la diversitat genètica i identificar empremtes genètiques	(Garcia-Martinez et al., 2006)
	<i>Muchamiel</i> i <i>De la Pera</i>	Comunitat Valenciana	Avaluació de les diferències entre varietats tradicionals i cultivars moderns respecte a la concentració de les molècules relacionades amb la qualitat	(Ruiz et al., 2006)
	<i>Valenciano</i> i altres	Comunitat Valenciana	Recollida de germoplasma i descripció de l'erosió genètica en les varietats tradicionals de tomàquet	(Cebolla-Cornejo et al., 2007)
	-	Comunitat Valenciana	Caracterització de diferents varietats tradicionals pel seu contingut en vitamina C i carotens	(Adalid et al., 2008)
	-	Comunitat Valenciana	Efecte del cultiu dins hivernacle sobre la qualitat	(Cebolla-Cornejo et al., 2008)
	<i>Muchamiel</i> i <i>De la Pera</i>	Comunitat Valenciana	Avaluació de les diferències en els perfils aromàtics (anàlisi instrumental i sensorial) entre les varietats tradicionals i varietats millorades	(Alonso et al., 2009a)
	<i>Muchamiel</i>	Comunitat Valenciana	Efecte de la introgressió del gens de resistència <i>Tm-2a</i> , <i>Sw-5</i> i <i>Ty-1</i> sobre el perfil aromàtic i els paràmetres relacionats amb la qualitat	(Alonso et al., 2009b)
	<i>Muchamiel</i> , <i>Morada</i> i <i>Valenciano</i>	Comunitat Valenciana	Efecte genètic i ambiental sobre la composició de compostos relacionats amb el gust i l'aroma	(Alonso et al., 2010)
	<i>Tomàtiga de Ramellet</i>	Illes Balears	Estudi fisiològic de la resposta a l'estrès hídric de la varietat	(Galmes et al., 2011)
	Col·lecció de 14 varietats tradicionals	-	Caracterització agromorfològica i de caràcters relacionats amb la qualitat en condicions de cultiu ecològic	(Gonzalez-Cabrino et al., 2011)
<i>De la Pera</i>	Comunitat Valenciana	Descripció d'una línia millorada de la varietat tradicional 'De la Pera' amb resistència a TMV, TYLCV i TSWV	(García-Martínez et al., 2012)	

<b>Grècia</b>						
	Col·lecció de 33 varietats tradicionals gregues	Grècia	Estudi de la diversitat genètica i per caràcters agromorfològics	(Terzopoulos i Bebeli, 2008)		
	Col·lecció de 14 varietats tradicionals gregues	Grècia	Estudi de la variabilitat intra-varietal per caràcters agromorfològics	(Terzopoulos <i>et al.</i> , 2009)		
	Col·lecció de 34 varietats tradicionals gregues	Grècia	Estudi de la variabilitat existent en les varietats tradicionals gregues	(Terzopoulos i Bebeli, 2010)		
<b>Itàlia</b>						
	<i>San Marzano</i>	-	Anàlisi de la diversitat intra-varietal respecte a la composició química	(Loiudice <i>et al.</i> , 1995)		
	Diverses varietats tradicionals	-	Efecte del cultiu en hivernacle i la dosi de reg sobre el comportament agronòmic i la qualitat	(Branca i Ruggeri, 2003)		
	<i>Corbarino</i>	Campània	Anàlisi de la diversitat genètica i caracterització agromorfològica i per caràcters relacionats amb la qualitat	(Andreakis <i>et al.</i> , 2004)		
	<i>San Marzano</i>	Campània	Caracterització agromorfològica i de la variabilitat genètica intra-varietal	(Rao <i>et al.</i> , 2006)		
	<i>San Marzano, Pera d'Abruzzo i Cuore di bue di Albenga</i>	-	Identificació d'un marcador molecular que diferencia la morfologia esfèrica ( <i>Cuore di bue di Albenga</i> ) de la piriforme ( <i>Pera d'Abruzzo</i> )	(Sabatini <i>et al.</i> , 2006)		
	<i>Rosa di Sorrento</i>	-	Identificació de gens de resistència a <i>Verticillium</i> sp.	(Acciarri <i>et al.</i> , 2007; Acciarri <i>et al.</i> , 2010)		
	<i>Vesuviano, San Marzano, Corbarino i Sorrento</i>	-	Estudi del perfil sensorial de les varietats tradicionals i de les diferències existents amb els materials comercials de cada varietat	(Sinesio <i>et al.</i> , 2007)		
	<i>Vesuvio, San Marzano i Sorrento</i>	Campània	Caracterització bioquímica, genètica i sensorial	(Ercolano <i>et al.</i> , 2008)		
	Col·lecció de 40 varietats tradicionals italianes	-	Diversitat genètica i per caràcters agromorfològics en les varietats tradicionals italianes	(Mazzucato <i>et al.</i> , 2008)		
	<i>Pomodoro di Sorrento</i>	-	Efecte ambiental i diversitat intra-varietal per caràcters agromorfològics i relacionats amb la qualitat	(Parisi <i>et al.</i> , 2008)		
	<i>San Marzano</i>	Campània	Comparació de diferents marcadors moleculars per avaluar la variabilitat intra-varietal	(Caramante <i>et al.</i> , 2009)		
	<i>A para Abruzzesse</i>	Abruzzo	Estudi de la variabilitat agromorfològica i genètica intra-varietal	(Mazzucato <i>et al.</i> , 2010)		





## 1.11. Objectius

### 1.11.1. Objectiu general

L'objectiu general d'aquesta tesi doctoral és avaluar les poblacions cultivades de les varietats tradicionals de tomàquet *Montserrat*, *Pera de Girona* i *Penjar*, i identificar els trets agronòmics, morfològics i sensorials que les fan singulars. Partint d'aquesta informació es pretenen dissenyar estratègies útils per a la seva recuperació, mitjançant la millora del seu perfil sensorial per tal d'incentivar l'acceptació per part dels consumidors.

### 1.11.2. Objectius específics

Per assolir aquest objectiu general s'han dissenyat diferents objectius específics, en acord amb els dissemblants trets diferencials de cada varietat tradicional, que han requerit diferents aproximacions metodològiques. Aquests objectius específics són agrupats en 4 capítols, corresponents als 4 articles publicats que componen aquesta tesi doctoral.

En relació amb l'estructura genètica de les poblacions cultivades de les varietats tradicionals:

Capítol 2. Estudiar les poblacions cultivades de les varietats tradicionals *Montserrat* i *Pera de Girona*, mitjançant una aproximació molecular, una caracterització agronòmica i morfològica i l'estudi de la diversitat per caràcters relacionats amb la qualitat organolèptica. Aquestes dades permeten descriure l'estructura genètica i els caràcters agronòmics, morfològics i sensorials que diferencien les poblacions d'ambdues varietats, així com respecte a testimonis externs.

**Casals J**, Pascual L, Cañizares J, Cebolla-Cornejo J, Casañas F, Nuez F (2011) The risks of success in quality vegetable markets: possible genetic erosion in Marmande tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and consumer dissatisfaction. *Scientia Horticulturae* **130**: 78-84.

Capítol 3. Estudiar les poblacions cultivades de tomàquet de *Penjar*, mitjançant una aproximació molecular i una caracterització agronòmica i morfològica d'entrades seleccionades per representar la variabilitat intra-varietal. Anàlisi del seu comportament en postcollita i estudi de la base genètica de la llarga conservació.

**Casals J**, Pascual L, Cañizares J, Cebolla-Cornejo J, Casañas F, Nuez F (2012) Genetic basis of long shelf life and variability into *Penjar* tomato. *Genetic Resources and Crop Evolution* **59**: 219-229.

En relació amb el desenvolupament d'estratègies per millorar el valor sensorial:

Capítol 4. Desenvolupar un programa de millora genètica dins el tipus varietal *Pera de Girona* per obtenir línies amb una elevada qualitat organolèptica i un bon comportament agronòmic.

**Casals J**, Bosch L, Casañas F, Cebolla J, Nuez F (2010) Montgrí, a cultivar within the *Montserrat* tomato type. *Hortscience* **45**: 1885-1886.

Capítol 5. Estudiar, mitjançant una aproximació instrumental i la descripció sensorial realitzada per un panel de tast, l'evolució del perfil aromàtic durant la postcollita del tomàquet de Penjar. Anàlisi de la variabilitat intra-varietal per perfil aromàtic, descripció de les especificitats organolèptiques de la varietat i identificació de punts màxims de qualitat durant la postcollita.

**Casals J**, Cebolla-Cornejo J, Rosello S, Beltran J, Casañas F, Nuez F (2011) Long-term postharvest aroma evolution of tomatoes with the alcobaça (*alc*) mutation. *European Food Research and Technology* **233**: 331-342.

## Referències bibliogràfiques

### Capítol 1. Introducció

- Abbott JA (1999)** Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* **15**: 207-225.
- Acciarri N, Rotino GL, Tamietti G, Valentino D, Voltattorni S, Sabatini E (2007)** Molecular markers for Ve1 and Ve2 Verticillium resistance genes from Italian tomato germplasm. *Plant Breeding* **126**: 617-621.
- Acciarri N, Sabatini E, Ciriaci T, Rotino LG, Valentino D, Tamietti G (2010)** The presence of genes for resistance against *Verticillium dahliae* in Italian tomato landraces. *European Journal of Horticultural Science* **75**: 8-14.
- Adalid AM, Rosello S, Cebolla-Cornejo J, Nuez F (2008)** Evaluation and selection of *Lycopersicon* accessions for high carotenoid and vitamin C content. A: Cirulli M, Scott JW i Bubici G eds. *Proceedings of the Fifteenth Meeting of the Eucarpia Tomato Working Group*.
- Aharoni A, Giri AP, Verstappen FWA, Berteaux CM, Sevenier R, Sun ZK, Jongsma MA, Schwab W, Bouwmeester HJ (2004)** Gain and loss of fruit flavor compounds produced by wild and cultivated strawberry species. *Plant Cell* **16**: 3110-3131.
- Alabouette L, Titard A (1933)** Sur la possibilité d'utiliser dans la culture de la tomate des hybrides de première génération. *Sél. Fr.* **2**: 11-14.
- Alexander L, Grierson D (2002)** Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* **53**: 2039-2055.
- Almeida JLF (1961)** Um novo aspecto de melhoramento do tomate. *Agricultura* **10**: 43-44.
- Alonso A, Garcia-Aliaga R, Garcia-Martinez S, Ruiz JJ, Carbonell-Barrachina AA (2009a)** Characterization of Spanish tomatoes using aroma composition and discriminant analysis. *Food Science and Technology International* **15**: 47-55.
- Alonso A, Vazquez-Araujo L, Garcia-Martinez S, Ruiz JJ, Carbonell-Barrachina AA (2009b)** Volatile compounds of traditional and virus-resistant breeding lines of Muchamiel tomatoes. *European Food Research and Technology* **230**: 315-323.
- Alonso A, Garcia-Martinez S, Vazquez-Araujo L, Ruiz JJ, Carbonell-Barrachina AA (2010)** Comparative post-harvest behaviour of traditional and virus-resistant Muchamiel tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **90**: 1056-1062.
- Alvarez AE, van de Wiel CCM, Smulders MJM, Vosman B (2001)** Use of microsatellites to evaluate genetic diversity and species relationships in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics* **103**: 1283-1292.
- Andreakis N, Giordano I, Pentangelo A, Fogliano V, Graziani G, Monti LM, Rao R (2004)** DNA fingerprinting and quality traits of corbarino cherry-like tomato landraces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**: 3366-3371.
- Anònim (1796)** *Il dizionario universale economico-rustico*. Roma.
- Ashby E (1937)** Studies in the inheritance of physiological characters III. Hybrid vigour in the tomato Part 1. Manifestations of hybrid vigour from germination to the onset of flowering. *Annals of Botany* **1**: 11-41.
- Atkins IM (1938)** Relation of certain plant characters to strength of straw and lodging in winter wheat. *Journal of Agricultural Research* **56**: 0099-0120.
- Aubert S, Foury C (2003)** Habitudes de consommation et valeur alimentaire. A: Pitrat M i Foury C eds. *Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXIe siècle*. Paris: Éditions INRA.
- Augustine JJ (1975)** *Genetic, physiological, morphological and anatomical studies of net carbon exchange in the tomato*. Davis: Tesi doctoral de la University of California.
- Austin RB, Bingham J, Blackwell RD, Evans LT, Ford MA, Morgan CL, Taylor M (1980)** Genetic improvements in winter-wheat yields since 1900 and associated physiological-changes. *Journal of Agricultural Science* **94**: 675-689.
- Ayub R, Guis M, BenAmor M, Gillot L, Roustan JP, Latche A, Bouzayen M, Pech JC (1996)** Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. *Nature Biotechnology* **14**: 862-866.
- Bai Y, Lindhout P (2007)** Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany* **100**: 1085-1094.
- Baldwin EA, Scott JW, Einstein MA, Malundo TMM, Carr BT, Shewfelt RL, Tandon KS (1998)** Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **123**: 906-915.
- Baldwin EA, Scott JW, Shewmaker CK, Schuch W (2000)** Flavor trivia and tomato aroma: Biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *Hortscience* **35**: 1013-1022.

- Balibrea ME, Martinez-Andujar C, Cuartero J, Bolarin MC, Perez-Alfocea F (2006)** The high fruit soluble sugar content in wild *Lycopersicon* species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. *Functional Plant Biology* **33**: 279-288.
- Ballester A-R, Molthoff J, de Vos R, Hekkert BtL, Orzaez D, Fernandez-Moreno J-P, Tripodi P, Grandillo S, Martin C, Heldens J, Ykema M, Granell A, Bovy A (2010)** Biochemical and molecular analysis of pink tomatoes: deregulated expression of the gene encoding transcription factor S1MYB12 leads to pink tomato fruit color. *Plant Physiology* **152**: 71-84.
- Banati D (2011)** Consumer response to food scandals and scares. *Trends in Food Science & Technology* **22**: 56-60.
- Barrero LS, Tanksley SD (2004)** Evaluating the genetic basis of multiple-locule fruit in a broad cross section of tomato cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* **109**: 669-679.
- Bauchot AD, Mottram DS, Dodson AT, John P (1998)** Effect of aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase antisense gene on the formation of volatile esters in cantaloupe charentais melon (Cv. Vedrandais). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **46**: 4787-4792.
- Beckles DM (2012)** Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* **63**: 129-140.
- Bedinger PA, Chetelat RT, McClure B, Moyle LC, Rose JKC, Stack SM, van der Knaap E, Baek YS, Lopez-Casado G, Covey PA, Kumar A, Li W, Nunez R, Cruz-Garcia F, Royer S (2011)** Interspecific reproductive barriers in the tomato clade: opportunities to decipher mechanisms of reproductive isolation. *Sexual Plant Reproduction* **24**: 171-187.
- Bell MA, Fischer RA, Byerlee D, Sayre K (1995)** Genetic and agronomic contributions to yield gains: A case study for wheat. *Field Crops Research* **44**: 55-65.
- Berg L (2004)** Trust in food in the age of mad cow disease: a comparative study of consumers' evaluation of food safety in Belgium, Britain and Norway. *Appetite* **42**: 21-32.
- Bernacchi D, Beck-Bunn T, Eshed Y, Lopez J, Petiard V, Uhlig J, Zamir D, Tanksley S (1998)** Advanced backcross QTL analysis in tomato. I. Identification of QTLs for traits of agronomic importance from *Lycopersicon hirsutum*. *Theoretical and Applied Genetics* **97**: 381-397.
- Bertin N, Guichard S, Leonardi C, Longuenesse JJ, Langlois D, Navez B (2000)** Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load. *Annals of Botany* **85**: 741-750.
- Biffen RH (1905)** Mendel's laws of inheritance and wheat breeding. *Journal of Agricultural Science* **1**: 4-U9.
- Borlaug NE (1968)** Wheat breeding and its impact on world food supply. A: Finlay KW i Shepherd KW eds. *Proceedings of the 3rd International Wheat Genetics Symposium*. Canberra: Australian Academy of Sciences/Butterworths.
- Borner A, Plaschke J, Korzun V, Worland AJ (1996)** The relationships between the dwarfing genes of wheat and rye. *Euphytica* **89**: 69-75.
- Boukobza F, Taylor AJ (2002)** Effect of postharvest treatment on flavour volatiles of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **25**: 321-331.
- Bradbury LMT, Fitzgerald TL, Henry RJ, Jin QS, Waters DLE (2005)** The gene for fragrance in rice. *Plant Biotechnology Journal* **3**: 363-370.
- Brady J (1934)** Some factors influencing lodging in cereals. *Journal of Agricultural Science* **24**: 209-232.
- Branca F, Ruggeri A (2003)** Response of Italian tomato landraces to protected cultivation. A: LaMalfa G, Lipari V, Noto G i Leonardi C eds. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation*.
- Brecht PE, Keng L, Bisogni CA, Munger HM (1976)** Effect of fruit portion, stage of ripeness and growth habit on chemical composition of fresh tomatoes. *Journal of Food Science* **41**: 945-948.
- Brewer MT, Moysenko JB, Monforte AJ, van der Knaap E (2007)** Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. *Journal of Experimental Botany* **58**: 1339-1349.
- Broadbent L (1976)** Epidemiology and control of Tomato Mosaic Virus. *Annual Review of Phytopathology* **14**: 75-96.
- Brueckner B, Schonhof I, Schroedter R, Kornelson C (2007)** Improved flavour acceptability of cherry tomatoes. Target group: Children. *Food Quality and Preference* **18**: 152-160.
- Bugarolas M, Martinez-Carrasco L, Martinez-Poveda A, Ruiz JJ (2009)** A competitive strategy for vegetable products: traditional varieties of tomato in the local market. *Spanish Journal of Agricultural Research* **7**: 294-304.
- Bruhn CM, Feldman N, Garlitz C, Harwood J, Ivans E, Marshall M, Riley A, Thurber D, Williamson E (1991)** Consumer perceptions of quality - apricots, cantaloupes, peaches, pears, strawberries, and tomatoes. *Journal of Food Quality* **14**: 187-195.

- Brumfield RG, Adelaja AO, Lininger K (1993)** Consumer tastes, preferences, and behavior in purchasing fresh tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **118**: 433-438.
- Brush SB, Meng E (1998)** Farmers' valuation and conservation of crop genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution* **45**: 139-150.
- Buescher RW, Sistrunk WA, Tigchelaar EC, Ng TJ (1976)** Softening, pectolytic activity, and storage-life of *rin* and *nor* tomato hybrids. *Hortscience* **11**: 603-604.
- Bush MB, Piperno DR, Colinvaux PA (1989)** A 6,000 year history of amazonian maize cultivation. *Nature* **340**: 303-305.
- Calderini DF, Slafer GA (1998)** Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Research* **57**: 335-347.
- Caramante M, Rao R, Monti LM, Corrado G (2009)** Discrimination of 'San Marzano' accessions: A comparison of minisatellite, CAPS and SSR markers in relation to morphological traits. *Scientia Horticulturae* **120**: 560-564.
- Carbonell-Barrachina AA, Agusti A, Ruiz JJ (2006)** Analysis of flavor volatile compounds by dynamic headspace in traditional and hybrid cultivars of Spanish tomatoes. *European Food Research and Technology* **222**: 536-542.
- Carli P, Barone A, Fogliano V, Frusciante L, Ercolano MR (2011)** Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality. *Bmc Plant Biology* **11**.
- Casallo A, Sobrino E (1965)** *Variedades de hortalizas cultivadas en España*. Madrid: Instituto Nacional para la Producción de Semillas Selectas.
- Causse M, Saliba-Colombani V, Lecomte L, Duffe P, Rousselle P, Buret M (2002)** QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany* **53**: 2089-2098.
- Causse M, Buret M, Robini K, Verschave P (2003)** Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science* **68**: 2342-2350.
- Causse M, Chaib J, Lecomte L, Buret M, Hospital F (2007a)** Both additivity and epistasis control the genetic variation for fruit quality traits in tomato. *Theoretical and Applied Genetics* **115**: 429-442.
- Causse M, Damidaux R, Rousselle P (2007b)** Traditional and enhanced breeding for quality traits in tomato. A: Razdan MK i Mattoo AK eds. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato*. New Hampshire: Science Publishers.
- Causse M, Friguet C, Coiret C, Lepicier M, Navez B, Lee M, Holthuysen N, Sinesio F, Moneta E, Grandillo S (2010)** Consumer Preferences for Fresh Tomato at the European Scale: A Common Segmentation on Taste and Firmness. *Journal of Food Science* **75**: S531-S541.
- Cebolla-Cornejo J, Soler S, Nuez F (2007)** Genetic erosion of traditional varieties of vegetable crops in Europe: tomato cultivation in Valencia (Spain) as a case Study. *International Journal of Plant Production* **1**: 113-128.
- Cebolla-Cornejo J, Rosello S, Nuez F (2008)** Influence of protected cultivation on accumulation of taste intensity components in traditional Spanish tomato varieties. A: Cirulli M, Scott JW i Bubici G eds. *Proceedings of the Fifteenth Meeting of the Eucarpia Tomato Working Group*.
- Cebolla-Cornejo J, Rosello S, Valcarcel M, Serrano E, Beltran J, Nuez F (2011)** Evaluation of genotype and environment effects on taste and aroma flavor components of Spanish fresh tomato varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **59**: 2440-2450.
- Cong B, Barrero LS, Tanksley SD (2008)** Regulatory change in YABBY-like transcription factor led to evolution of extreme fruit size during tomato domestication. *Nature Genetics* **40**: 800-804.
- CUE (2006)** Reglament (CE) 510/2006, de 20 de març de 2006, del Consell, sobre la protecció de les indicacions geogràfiques i de les denominacions d'origen dels productes agrícoles i alimentaris. Diari Oficial de la Comunitat Europea, L93/12.
- CUE (2011)** Food safety, [http://europa.eu/legislation\\_summaries/food\\_safety/index\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/food_safety/index_es.htm). Darrer accés: 18/02/2012.
- Chaib J, Devaux M-F, Grotte M-G, Robini K, Causse M, Lahaye M, Marty I (2007)** Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany* **58**: 1915-1925.
- Chen J, Wang H, Shen HL, Chai M, Li JS, Qi MF, Yang WC (2009)** Genetic variation in tomato populations from four breeding programs revealed by single nucleotide polymorphism and simple sequence repeat markers. *Scientia Horticulturae* **122**: 6-16.
- Chetelat RT, Deverna JW, Bennett AB (1995)** Introgression into tomato (*Lycopersicon esculentum*) of the *L. Chmielewskii* sucrose accumulator gene (*sucr*) controlling fruit sugar composition. *Theoretical and Applied Genetics* **91**: 327-333.
- Daunay MC, Laterrot H, Janick J (2007)** Iconography of the solanaceae from antiquity to the XVIIIth century: a rich source of information on genetic diversity and uses. *Proceedings of the VIth International Solanaceae Conference, Solanaceae VI: Genomics Meets Biodiversity*: 59-88.

- Davies JN, Hobson GE (1981)** The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *Crc Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **15**: 205-280.
- Davis DR (2009)** Declining fruit and vegetable nutrient composition: What is the evidence? *Hortscience* **44**: 15-19.
- Deffontaines P (1960)** Une huerta de littoral montagnard: Bañalbufar. *Méditerranée* **4**: 59-75.
- Dinis I, Simoes O, Moreira J (2011)** Using sensory experiments to determine consumers' willingness to pay for traditional apple varieties. *Spanish Journal of Agricultural Research* **9**: 351-362.
- Doebley JF, Gaut BS, Smith BD (2006)** The molecular genetics of crop domestication. *Cell* **127**: 1309-1321.
- Dondarini R (2010)** Storia e arte: aspetti storici. A: Angelini R ed. *Il pomodoro*. Bologna: Art Servizi Editoriali.
- Doré C, Varoquaux F (2006)** *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Paris: Éditions INRA.
- Dorst JCEA (1946)** *Een en twintigste beschrijvende rassenlijst voor landbouwgewassen*. Wageningen: Rijkscommissie voor de samenstelling van de rassenlijst voor landbouwgewassen.
- Duman I, Duzyaman E, Esiyok D, Vural H, Erkan S (2005)** Improving productivity of open-pollinated processing tomato cultivars. *Hortscience* **40**: 1682-1685.
- Duvick DN (1992)** Genetic contributions to advances in yield of United States maize. *Maydica* **37**: 69-79.
- Duvick DN, Cassman KG (1999)** Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States. *Crop Science* **39**: 1622-1630.
- Emery GC, Munger HM (1970)** Effects of inherited differences in growth habit on fruit size and soluble solids in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **95**: 410-412.
- Ercolano MR, Carli P, Soria A, Cascone A, Fogliano V, Frusciante L, Barone A (2008)** Biochemical, sensorial and genomic profiling of traditional Italian tomato varieties. *Euphytica* **164**: 571-582.
- Erisman JW, Sutton MA, Galloway J, Klimont Z, Winiwarter W (2008)** How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* **1**: 636-639.
- Esquinas-Alcázar J (1981)** *Genetic Resources of Tomatoes and Wild Relatives*. Roma: International Board for Plant Genetic Resources, FAO.
- Esquinas-Alcázar J, Nuez F (1995)** Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. A: Nuez F ed. *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Evenson RE, Gollin D (2003)** Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* **300**: 758-762.
- Fàbrega J (2011)** *La cuina catalana a través del temps*. Barcelona: Edicions l'Isard.
- Fairchild D (1927)** The tomato terraces of Banalbufar - An agricultural monopoly built on a single variety of tomato. *Journal of Heredity* **18**: 245-251.
- FAOSTAT (2011)** Food and agricultural commodities statistics, <http://faostat.fao.org/>. Darrer accés: 18/12/2011.
- Fellman JK, Miller TW, Mattinson DS, Mattheis JP (2000)** Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *Hortscience* **35**: 1026-1033.
- Fernie AR, Tadmor Y, Zamir D (2006)** Natural genetic variation for improving crop quality. *Current Opinion in Plant Biology* **9**: 196-202.
- Flores F, El Yahyaoui F, de Billerbeck G, Romojaro F, Latche A, Bouzayen M, Pech JC, Ambid C (2002)** Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. *Journal of Experimental Botany* **53**: 201-206.
- Foolad MR (2007)** Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics* **1**: 1-52.
- Francis FJ (1995)** Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference* **6**: 149-155.
- Frank CA, Nelson RG, Simonne EH, Behe BK, Simonne AH (2001)** Consumer preferences for color, price, and vitamin C content of bell peppers. *Hortscience* **36**: 795-800.
- Frary A, Nesbitt TC, Frary A, Grandillo S, van der Knaap E, Cong B, Liu JP, Meller J, Elber R, Alpert KB, Tanksley SD (2000)** *fw2.2*: A quantitative trait locus key to the evolution of tomato fruit size. *Science* **289**: 85-88.
- Frary A, Doganlar S, Frampton A, Fulton T, Uhlig J, Yates H, Tanksley S (2003)** Fine mapping of quantitative trait loci for improved fruit characteristics from *Lycopersicon chmielewskii* chromosome 1. *Genome* **46**: 235-243.
- Fray RG, Grierson D (1993)** Identification and genetic-analysis of normal and mutant phytoene synthase genes of tomato by sequencing, complementation and co-suppression. *Plant Molecular Biology* **22**: 589-602.
- Freemark KE, Boutin C, Keddy CJ (2002)** Importance of farmland habitats for conservation of plant species. *Conservation Biology* **16**: 399-412.
- Fridman E, Carrari F, Liu YS, Fernie AR, Zamir D (2004)** Zooming in on a quantitative trait for tomato yield using interspecific introgressions. *Science* **305**: 1786-1789.
- Fulton TM, Bucheli P, Voirol E, Lopez J, Petiard V, Tanksley SD (2002)** Quantitative trait loci (QTL) affecting sugars, organic acids and other biochemical properties possibly contributing to flavor, identified in four advanced backcross populations of tomato. *Euphytica* **127**: 163-177.

- Galmes J, Angel Conesa M, Manuel Ochogavia J, Alejandro Perdomo J, Francis DM, Ribas-Carbo M, Save R, Flexas J, Medrano H, Cifre J (2011)** Physiological and morphological adaptations in relation to water use efficiency in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum*. *Plant Cell and Environment* **34**: 245-260.
- García-Martínez S, Andreani L, García-Gusano M, Geuna F, Ruiz JJ (2006)** Evaluation of amplified fragment length polymorphism and simple sequence repeats for tomato germplasm fingerprinting: utility for grouping closely related traditional cultivars. *Genome* **49**: 648-656.
- García-Martínez S, Grau A, Alonso A, Rubio F, Valero M, Ruiz JJ (2012)** UMH 1203, a multiple virus-resistant fresh-market tomato breeding line for open-field conditions. *Hortscience* **47**: 124-125.
- García C (1933)** *Cultivos de regadío en Levante*. Madrid: Biblioteca Agropecuaria.
- Garg N, Cheema DS, Dhatt AS (2008)** Genetics of yield, quality and shelf life characteristics in tomato under normal and late planting conditions. *Euphytica* **159**: 275-288.
- Gautier H, Guichard S, Tchamitchian M (2001)** Modulation of competition between fruits and leaves by flower pruning and water fogging, and consequences on tomato leaf and fruit growth. *Annals of Botany* **88**: 645-652.
- Gentilcore D (2009)** Taste and the tomato in Italy: a transatlantic history. *Food & History* **1**: 125-140.
- Gentilcore D (2010)** *A history of the tomato in Italy, Pomodoro!* New York: Columbia University Press.
- Giovannoni JJ (2004)** Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell* **16**: S170-S180.
- Giovannoni JJ (2007)** Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. *Current Opinion in Plant Biology* **10**: 283-289.
- Giovannucci E (1999)** Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and prostate cancer: Review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute* **91**: 1331-1331.
- Goff SA, Klee HJ (2006)** Plant volatile compounds: Sensory cues for health and nutritional value? *Science* **311**: 815-819.
- Goldenberg JB, von der Pahlen A (1966)** Genetic and phenotypic correlation between weight and dry matter content of tomato fruits and their heritabilities. *Boletín Genético Argentina* **2**: 1-15.
- Gomez R, Costa J, Amo M, Alvarruiz A, Picazo M, Pardo JE (2001)** Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **81**: 1101-1105.
- Gonzalez-Cebrino F, Lozano M, Ayuso MC, Bernalte MJ, Vidal-Aragon MC, Gonzalez-Gomez D (2011)** Characterization of traditional tomato varieties grown in organic conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* **9**: 444-452.
- Grandillo S, Ku HM, Tanksley SD (1999a)** Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *TAG Theoretical and Applied Genetics* **99**: 978-987.
- Grandillo S, Zamir D, Tanksley SD (1999b)** Genetic improvement of processing tomatoes: A 20 years perspective. *Euphytica* **110**: 85-97.
- Griffith CJ (2006)** Food safety: where from and where to? *British Food Journal* **108**: 6-15.
- Griffiths A, Barry C, Alpuche-Solis AG, Grierson D (1999a)** Ethylene and developmental signals regulate expression of lipoxygenase genes during tomato fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* **50**: 793-798.
- Griffiths A, Prestage S, Linforth R, Zhang JL, Taylor A, Grierson D (1999b)** Fruit-specific lipoxygenase suppression in antisense-transgenic tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **17**: 163-173.
- Grunert KG (2002)** Current issues in the understanding of consumer food choice. *Trends in Food Science & Technology* **13**: 275-285.
- Guis M, Botondi R, BenAmor M, Ayub R, Bouzayen M, Pech JC, Latche A (1997)** Ripening-associated biochemical traits of Cantaloupe Charentais melons expressing an antisense ACC oxidase transgene. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **122**: 748-751.
- Hajjar R, Hodgkin T (2007)** The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. *Euphytica* **156**: 1-13.
- Hamilton EJ (2000)** *El tesoro americano y la revolución de los precios en España, 1501-1650*. Barcelona: Crítica.
- Hammer K (1984)** Das domestikationssyndrom. *Kulturpflanze* **32**: 11-34.
- Hammer K, Knupffer H, Xhuveli L, Perrino P (1996)** Estimating genetic erosion in landraces - Two case studies. *Genetic Resources and Crop Evolution* **43**: 329-336.
- Hancock JF (2004)** *Plant evolution and the origin of crop species*. Cambridge: CABI Publishing.
- Henle K, Alard D, Clitherow J, Cobb P, Firbank L, Kull T, McCracken D, Moritz RFA, Niemela J, Rebane M, Wascher D, Watt A, Young J (2008)** Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe - A review. *Agriculture Ecosystems & Environment* **124**: 60-71.
- Herner RC, Sink KC (1973)** Ethylene production and respiratory behavior of *rin* tomato mutant. *Plant Physiology* **52**: 38-42.
- Hewett E (2006)** An overview of preharvest factors influencing postharvest quality of horticultural products. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation* **1**: 4-15.

- Higashide T, Heuvelink E (2009)** Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **134**: 460-465.
- Hobson G (1988)** How the tomato lost its taste. *New Scientist* **119**: 46-50.
- Hobson GE (1980)** Effect of the introduction of non-ripening mutant-genes on the composition and enzyme content of tomato fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **31**: 578-584.
- Hobson GE, Bedford L (1989)** The composition of cherry tomatoes and its relation to consumer acceptability. *Journal of Horticultural Science* **64**: 321-329.
- Hongsoongnern P, Chambers E (2008)** A lexicon for texture and flavor characteristics of fresh and processed tomatoes. *Journal of Sensory Studies* **23**: 583-599.
- Horrigan L, Lawrence RS, Walker P (2002)** How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives* **110**: 445-456.
- Huyskens-Keil S, Schreiner M (2003)** Quality of fruits and vegetables. *Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik* **77**: 147-151.
- Ibarbia EA, Lambeth VN (1971)** Tomato fruit size and quality interrelationships. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **96**: 199-201.
- INE (2004)** Boletín Informativo del Instituto Nacional de Estadística vol. 5/2004, www.ine.es/revistas/cifraine/0504.pdf.
- Jarrell WM, Beverly RB (1981)** The Dilution Effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy* **34**: 197-224.
- Jarvis DI, Brown AHD, Cuong PH, Collado-Panduro L, Latournerie-Moreno L, Gyawali S, Tanto T, Sawadogo M, Mar I, Sadiki M, Hue NT-N, Arias-Reyes L, Balma D, Bajracharya J, Castillo F, Rijal D, Belqadi L, Ranag R, Saidi S, Ouedraogo J, Zangre R, Rhrib K, Chavez JL, Schoen DJ, Sthapit B, De Santis P, Fadda C, Hodgkin T (2008)** A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **105**: 5326-5331.
- Jenkins JA, Mackinney G (1955)** Carotenoids of the apricot tomato and its hybrids with yellow and tangerine. *Genetics* **40**: 715-720.
- Jenks MA, Bebeli PJ (2011)** *Breeding for fruit quality*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Johansson L, Haglund A, Berglund L, Lea P, Risvik E (1999)** Preference for tomatoes, affected by sensory attributes and information about growth conditions. *Food Quality and Preference* **10**: 289-298.
- Johnson EC, Fischer KS, Edmeades GO, Palmer AFE (1986)** Recurrent selection for reduced plant height in lowland tropical maize. *Crop Science* **26**: 253-260.
- Jones RA (1986)** Breeding for improved post-harvest tomato quality: genetical aspects. *Acta Horticulturae* **190**: 77-87.
- Jordan JA (2007)** The heirloom tomato as cultural object: Investigating taste and space. *Sociologia Ruralis* **47**: 20-41.
- Kader AA, Stevens MA, Albrightolton M, Morris LL, Algazi M (1977)** Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **102**: 724-731.
- Kader AA (2002)** *Postharvest technology of horticultural crops*. Oakland, USA: University of California.
- Kader AA (2008)** Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **88**: 1863-1868.
- Kamal AHM, Takashina T, Egashira H, Satoh H, Imanishi S (2001)** Introduction of aromatic fragrance into cultivated tomato from the 'peruvianum complex'. *Plant Breeding* **120**: 179-181.
- Khush GS (1999)** Green revolution: preparing for the 21st century. *Genome* **42**: 646-655.
- Khush GS (2001)** Green revolution: the way forward. *Nature Reviews Genetics* **2**: 815-822.
- Kinzer SM, Schwager SJ, Mutschler MA (1990)** Mapping of ripening-related or ripening-specific cDNA clones of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Theoretical and Applied Genetics* **79**: 489-496.
- Klee HJ (2010)** Improving the flavor of fresh fruits: genomics, biochemistry, and biotechnology. *New Phytologist* **187**: 44-56.
- Kleijn D, Sutherland WJ (2003)** How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity? *Journal of Applied Ecology* **40**: 947-969.
- Konsler TR (1973)** Three mutants appearing in 'Manapal' tomato. *Hortscience* **8**: 331-333.
- Kopeliovitch E, Mizrahi Y, Rabinowitch HD, Kedar N (1982)** Effect of the fruit-ripening mutant-genes *rin* and *nor* on the flavor of tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **107**: 361-364.
- Kovacs K, Fray RG, Tikunov Y, Graham N, Bradley G, Seymour GB, Bovy AG, Grierson D (2009)** Effect of tomato pleiotropic ripening mutations on flavour volatile biosynthesis. *Phytochemistry* **70**: 1003-1008.
- Kramer M (1980)** Ruination of the tomato - how agribusiness squeezed the taste out. **245**: 72-77.
- Kun Y, Lule US, Xiao-Lin D (2006)** Lycopene: Its properties and relationship to human health. *Food Reviews International* **22**: 309-333.



- Kuzyomenskii AV (2007)** Effect of cumulative polymery of tomato keeping life genes. *Cytology and Genetics* **41**: 268-275.
- Labate JA, Sheffer SM, Balch T, Robertson LD (2011)** Diversity and population structure in a geographic sample of tomato accessions. *Crop Science* **51**: 1068-1079.
- Laterrot H, Philouze J (2003)** Tomates. A: Pitrat M i Foury C eds. *Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXIe siècle*. Paris: INRA.
- Le S, Ledauphin S (2006)** You like tomato, I like tomato: Segmentation of consumers with missing values. *Food Quality and Preference* **17**: 228-233.
- Lecomte L, Duffe P, Buret M, Servin B, Hospital F, Causse M (2004)** Marker-assisted introgression of five QTLs controlling fruit quality traits into three tomato lines revealed interactions between QTLs and genetic backgrounds. *Theoretical and Applied Genetics* **109**: 658-668.
- Lee SK, Kader AA (2000)** Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* **20**: 207-220.
- Lelievre JM, Latche A, Jones B, Bouzayen M, Pech JC (1997)** Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum* **101**: 727-739.
- Lengard V, Kermit M (2006)** 3-Way and 3-block PLS regressions in consumer preference analysis. *Food Quality and Preference* **17**: 234-242.
- Levin I, Gilboa N, Yeselson E, Shen S, Schaffer AA (2000)** Fgr, a major locus that modulates the fructose to glucose ratio in mature tomato fruits. *Theoretical and Applied Genetics* **100**: 256-262.
- Lincoln RE, Porter JW (1950)** Inheritance of beta-carotene in tomatoes. *Genetics* **35**: 206-211.
- Lippman Z, Tanksley SD (2001)** Dissecting the genetic pathway to extreme fruit size in tomato using a cross between the small-fruited wild species *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* var. giant heirloom. *Genetics* **158**: 413-422.
- Liu JP, Cong B, Tanksley SD (2003a)** Generation and analysis of an artificial gene dosage series in tomato to study the mechanisms by which the cloned quantitative trait locus fw2.2 controls fruit size. *Plant Physiology* **132**: 292-299.
- Liu YS, Gur A, Ronen G, Causse M, Damidaux R, Buret M, Hirschberg J, Zamir D (2003b)** There is more to tomato fruit colour than candidate carotenoid genes. *Plant Biotechnology Journal* **1**: 195-207.
- Lobell DB, Burke MB, Tebaldi C, Mastrandrea MD, Falcon WP, Naylor RL (2008)** Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* **319**: 607-610.
- Loiudice R, Impembo M, Laratta B, Villari G, Lovoi A, Siviero P, Castaldo D (1995)** Composition of San-Marzano tomato varieties. *Food Chemistry* **53**: 81-89.
- Lotti A (2010)** The commoditization of products and taste: Slow Food and the conservation of agrobiodiversity. *Agriculture and Human Values* **27**: 71-83.
- Lurie S, Pre-Aymard C, Ravid U, Larkov O, Fallik E (2002)** Effect of 1-methylcyclopropene on volatile emission and aroma in cv. Anna apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**: 4251-4256.
- MacArthur JW (1932)** Inherited characters in the tomato I - The self pruning habit. *Journal of Heredity* **23**: 395-396.
- Malundo TMM, Shewfelt RL, Scott JW (1995)** Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology* **6**: 103-110.
- Mao L, Begum D, Chuang HW, Budiman MA, Szymkowiak EJ, Irish EE, Wing RA (2000)** JOINTLESS is a MADS-box gene controlling tomato flower abscission zone development. *Nature* **406**: 910-913.
- Matas AJ, Gapper NE, Chung M-Y, Giovannoni JJ, Rose JKC (2009)** Biology and genetic engineering of fruit maturation for enhanced quality and shelf-life. *Current Opinion in Biotechnology* **20**: 197-203.
- Matson PA, Parton WJ, Power AG, Swift MJ (1997)** Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* **277**: 504-509.
- Matsui K, Ishii M, Sasaki M, Rabinowitch HD, Ben-Oliel G (2007)** Identification of an allele attributable to formation of cucumber-like flavor in wild tomato species (*Solanum pennellii*) that was inactivated during domestication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55**: 4080-4086.
- Mattheis JP, Fellman JK (1999)** Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* **15**: 227-232.
- Mattioli PA (1544)** *Di Pedacio Dioscoride Anazarbeo libri cinque della historia, et materia medicinale trodotti in lingua volgare Italiana*. Venice.
- Mattioli PA, Camerarius J (1590)** *Kreuterbuch desz hochgelehrten unnd weitberühmten*.
- Mazzucato A, Papa R, Bitocchi E, Mosconi P, Nanni L, Negri V, Picarella ME, Siligato F, Soressi GP, Tiranti B, Veronesi F (2008)** Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Theoretical and Applied Genetics* **116**: 657-669.

- Mazzucato A, Ficcadenti N, Caioni M, Mosconi P, Piccinini E, Sanampudi VRR, Sestili S, Ferrari V (2010)** Genetic diversity and distinctiveness in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces: The Italian case study of 'A pera Abruzzese'. *Scientia Horticulturae* **125**: 55-62.
- McGlasson WB, Last JH, Shaw KJ, Meldrum SK (1987)** Influence of the non-ripening mutants *rin* and *nor* on the aroma of tomato fruit. *Hortscience* **22**: 632-634.
- Meléndez LE (1772)** Bodegón: pepinos, tomates y recipientes. Madrid: Colección Real del Museo Nacional del Prado.
- Mendel G (1866)** *Versuche über Pflanzenhybriden. Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr 1865, Abhandlungen*, 3.
- Miller JC, Tanksley SD (1990)** RFLP analysis of phylogenetic-relationships and genetic-variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics* **80**: 437-448.
- Mkanda AV, Minnaar A, de Kock HL (2007)** Relating consumer preferences to sensory and physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **87**: 2868-2879.
- Moretti CL, Sargent SA, Huber DJ, Calbo AG, Puschmann R (1998)** Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **123**: 656-660.
- Morineau M (1996)** Croître sans savoir pourquoi: structures de production, démographie et rations alimentaires. A: Flandrin JL i Montanari M eds. *Histoire de l'alimentation*. Paris: Éditions Fayard.
- Morris CE, Sands DC (2006)** The breeder's dilemma - yield or nutrition? *Nature Biotechnology* **24**: 1078-1080.
- Murphy DJ (2007)** *People, plants and genes. The story of crops and humanity*. New York: Oxford University Press.
- Nagano H, Onishi K, Ogasawara M, Horiuchi Y, Sano Y (2005)** Genealogy of the "Green Revolution" gene in rice. *Genes & Genetic Systems* **80**: 351-356.
- Neenan M, Spencersmith JL (1975)** Analysis of problem of lodging with particular reference to wheat and barley. *Journal of Agricultural Science* **85**: 495-507.
- Nesbitt TC, Tanksley SD (2001)** *fw2.2* directly affects the size of developing tomato fruit, with secondary effects on fruit number and photosynthate distribution. *Plant Physiology* **127**: 575-583.
- Nuez F (1996)** *Catálogo de semillas de tomate*. Madrid: Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Ofversten J, Jauhiainen L, Kangas A (2004)** Contribution of new varieties to cereal yields in Finland between 1973 and 2003. *Journal of Agricultural Science* **142**: 281-287.
- Olbricht K, Grafe C, Weiss K, Ulrich D (2008)** Inheritance of aroma compounds in a model population of *Fragaria x ananassa* Duch. *Plant Breeding* **127**: 87-93.
- Ortiz-Serrano P, Gil JV (2010)** Quantitative comparison of free and bound volatiles of two commercial tomato cultivars (*Solanum lycopersicum* L.) during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58**: 1106-1114.
- Osborn TC, Kramer C, Graham E, Braun CJ (2007)** Insights and innovations from wide crosses: Examples from canola and tomato. *Crop Science* **47**: S228-S237.
- Paran I, van der Knaap E (2007)** Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *Journal of Experimental Botany* **58**: 3841-3852.
- Parisi M, D'Onofrio B, Pentangelo A, Villari G, Giordano I (2008)** Morphology, productivity and qualitative characterization of the traditional tomato ecotype Pomodoro di Sorrento originating from the campania region, southern Italy. A: Cirulli M, Scott JW i Bubici G eds. *Proceedings of the Fifteenth Meeting of the Eucarpia Tomato Working Group*.
- Park YH, West MAL, St Clair DA (2004)** Evaluation of AFLPs for germplasm fingerprinting and assessment of genetic diversity in cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Genome* **47**: 510-518.
- Paül V (2006)** *L'ordenació dels espais agraris metropolitans. Plans, gestió i conflictes territorials a la regió de Barcelona*. Barcelona: Tesi doctoral de la Universitat de Barcelona.
- Peng S, Laza RC, Visperas RM, Sanico AL, Cassman KG, Khush GS (2000)** Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. *Crop Science* **40**: 307-314.
- Perez-Rodrigo C, Ribas L, Serra-Majem L, Aranceta J (2003)** Food preferences of Spanish children and young people: the enKid study. *European Journal of Clinical Nutrition* **57**: S45-S48.
- Petro-Turza M (1986)** Flavor of tomato and tomato products. *Food Reviews International* **2**: 309-351.
- Pinthus MJ (1967)** Spread of root system as indicator for evaluating lodging resistance of wheat. *Crop Science* **7**: 107-110.
- Pope KO, Pohl MED, Jones JG, Lentz DL, von Nagy C, Vega FJ, Quitmyer IR (2001)** Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of mesoamerica. *Science* **292**: 1370-1373.
- Porta M, Gasull M, Puigdomenech E, Gari M, de Barea MB, Guillen M, Lopez T, Bigas E, Pumarega J, Llebaria X, Grimalt JO, Tresserras R (2010)** Distribution of blood concentrations of persistent organic pollutants in a representative sample of the population of Catalonia. *Environment International* **36**: 655-664.

- Porta M, Lopez T, Gasull M, Rodriguez-Sanz M, Gari M, Pumarega J, Borrell C, Grimalt JO (2012)** Distribution of blood concentrations of persistent organic pollutants in a representative sample of the population of Barcelona in 2006, and comparison with levels in 2002. *Sci Total Environ* **423**: 151-161.
- Porter JW, Zscheile FP (1946)** Studies on carotenoids. 9. Carotenes of *Lycopersicon* species and strains. *Archives of Biochemistry* **10**: 537-545.
- Prasanna V, Prabha TN, Tharanathan RN (2007)** Fruit ripening phenomena - An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **47**: 1-19.
- Pretty J (2008)** Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* **363**: 447-465.
- Prudent M, Causse M, Genard M, Tripodi P, Grandillo S, Bertin N (2009)** Genetic and physiological analysis of tomato fruit weight and composition: influence of carbon availability on QTL detection. *Journal of Experimental Botany* **60**: 923-937.
- Pyysalo T, Honkanen E, Hirvi T (1979)** Volatiles of wild strawberries, *Fragaria vesca* L., compared to those of cultivated berries, *Fragaria x ananassa* cv. Senga Sengana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **27**: 19-22.
- Rao R, Corrado G, Bianchi M, Di Mauro A (2006)** (GATA)(4) DNA fingerprinting identifies morphologically characterized 'San Marzano' tomato plants. *Plant Breeding* **125**: 173-176.
- Ratanachinakorn B, Klieber A, Simons DH (1997)** Effect of short-term controlled atmospheres and maturity on ripening and eating quality of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **11**: 149-154.
- Renting H, Marsden TK, Banks J (2003)** Understanding alternative food networks: exploring the role of short food supply chains in rural development. *Environment and Planning A* **35**: 393-411.
- Reynard GB (1956)** Origin of Webb Special (Black Queen) in tomato. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **6**: 22.
- Rick CM, Butler L (1956)** Cytogenetics of the tomato. *Advances in Genetics Incorporating Molecular Genetic Medicine* **8**: 267-382.
- Rick CM, Fobes JF (1975)** Symposium on biochemical systematics, genetics and origin of cultivated plants. 10. Allozyme variation in cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* **102**: 376-384.
- Rick CM (1976)** Tomato *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). A: Smartt J i Simmonds NW eds. *Evolution of crop plants*. London & New York: Longman Group.
- Rick CM, Yoder JI (1988)** Classical and molecular-genetics of tomato - Highlights and perspectives. *Annual Review of Genetics* **22**: 281-300.
- Riggs TJ, Hanson PR, Start ND, Miles DM, Morgan CL, Ford MA (1981)** Comparison of spring barley varieties grown in England and Wales between 1880 and 1980. *Journal of Agricultural Science* **97**: 599-610.
- Robertson LD, Labate JA (2007)** Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. A: Razdan MK i Mattoo AK eds. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato*. New Hampshire: Science Publishers.
- Robinson RW, Tomes ML (1968)** Ripening inhibitor: a gene with multiple effects on ripening. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **18**: 36-37.
- Rodriguez GR, Munos S, Anderson C, Sim S-C, Michel A, Causse M, Gardener BBM, Francis D, van der Knaap E (2011)** Distribution of SUN, OVATE, LC, and FAS in the tomato germplasm and the relationship to fruit shape diversity. *Plant Physiology* **156**: 275-285.
- Roininen K, Tuorila H, Zandstra EH, de Graaf C, Vehkalahti K, Stubenitsky K, Mela DJ (2001)** Differences in health and taste attitudes and reported behaviour among Finnish, Dutch and British consumers: a cross-national validation of the Health and Taste Attitude Scales (HTAS). *Appetite* **37**: 33-45.
- RoyalSociety (2009)** *Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture*. London: The Royal Society, Science Policy.
- Rozin P, Spranca M, Krieger Z, Neuhaus R, Surillo D, Swerdlin A, Wood K (2004)** Preference for natural: instrumental and ideational/moral motivations, and the contrast between foods and medicines. *Appetite* **43**: 147-154.
- Ruiz JJ, Alonso A, Garcia-Martinez S, Valero M, Blasco P, Ruiz-Bevia F (2005a)** Quantitative analysis of flavour volatiles detects differences among closely related traditional cultivars of tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**: 54-60.
- Ruiz JJ, Garcia-Martinez S, Pico B, Gao MQ, Quiros CF (2005b)** Genetic variability and relationship of closely related Spanish traditional cultivars of tomato as detected by SRAP and SSR markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **130**: 88-94.
- Ruiz JJ, Martinez N, Garcia-Martinez S, Serrano M, Valero M, Moral R (2005c)** Micronutrient composition and quality characteristics of traditional tomato cultivars in southeast Spain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **36**: 649-660.

- Ruiz JJ, Valero M, Garcia-Martinez S, Serrano M, Moral R (2006) Effect of recent genetic improvement on some analytical parameters of tomato fruit quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **37**: 2647-2658.
- Sabatini E, Rotino GL, Voltattorni S, Acciarri N (2006) A novel CAPS marker derived from the Ovate gene in tomato (*L. esculentum* Mill.) is useful to distinguish two Italian ecotypes and to recover pear shape in marker assisted selection. *European Journal of Horticultural Science* **71**: 193-198.
- Saladie M, Matas AJ, Isaacson T, Jenks MA, Goodwin SM, Niklas KJ, Ren X, Labavitch JM, Shackel KA, Fernie AR, Lytovchenko A, O'Neill MA, Watkins CB, Rose JKC (2007) A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology* **144**: 1012-1028.
- Sanzi-Calvo M, Attienza Del Rey J (1999) Sensory analysis of beans (*Phaseolus vulgaris*). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* **3**: 201-204.
- Schauer N, Zamir D, Fernie AR (2005) Metabolic profiling of leaves and fruit of wild species tomato: a survey of the *Solanum lycopersicum* complex. *Journal of Experimental Botany* **56**: 297-307.
- Schuelter AR, Finger FL, Casali VWD, Brommonschenkel SH, Otoni WC (2002) Inheritance and genetic linkage analysis of a firm-ripening tomato mutant. *Plant Breeding* **121**: 338-342.
- 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 developmental regulation of Cstps1, a key gene in the production of the sesquiterpene aroma compound valencene. *Plant Journal* **36**: 664-674.
- Shewfelt RL (1999) What is quality? *Postharvest Biology and Technology* **15**: 197-200.
- Sim SC, Robbins MD, Chilcott C, Zhu T, Francis DM (2009) Oligonucleotide array discovery of polymorphisms in cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) reveals patterns of SNP variation associated with breeding. *Bmc Genomics* **10**.
- Sim SC, Robbins MD, Van Deynze A, Michel AP, Francis DM (2011) Population structure and genetic differentiation associated with breeding history and selection in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Heredity* **106**: 927-935.
- Simonne AH, Behe BK, Marshall MM (2006) Consumers prefer low-priced and high-lycopene-content fresh-market tomatoes. *Horttechnology* **16**: 674-681.
- Sinesio F, Moneta E, Peparaio M (2007) Sensory characteristics of traditional field grown tomato genotypes in Southern Italy. *Journal of Food Quality* **30**: 878-895.
- Sinesio F, Cammareri M, Moneta E, Navez B, Peparaio M, Causse M, Grandillo S (2010) Sensory quality of fresh French and Dutch market tomatoes: A preference mapping study with Italian consumers. *Journal of Food Science* **75**: S55-S67.
- Sink Jr KC, Herner RC, Knowlton LL (1974) Chlorophyll and carotenoids of the rin tomato mutant. *Canadian Journal of Botany* **52**: 1657-1660.
- Slafer GA, Andrade FH (1991) Changes in physiological attributes of the dry-matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic-improvement of grain-yield potential at different regions of the world - A review. *Euphytica* **58**: 37-49.
- Smale M, Bellon MR, Jarvis D, Sthapit B (2004) Economic concepts for designing policies to conserve crop genetic resources on farms. *Genetic Resources and Crop Evolution* **51**: 121-135.
- Soler S, Prohens J, Lopez C, Aramburu J, Galipienso L, Nuez F (2010) Viruses infecting tomato in Valencia, Spain: Occurrence, distribution and effect of seed origin. *Journal of Phytopathology* **158**: 797-805.
- Soressi GP (1975) New spontaneous or chemically-induced fruit ripening tomato mutants. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **25**: 21-22.
- Stanca AM, Jenkins G, Hanson PR (1979) Varietal responses in spring barley to natural and artificial lodging and to a growth-regulator. *Journal of Agricultural Science* **93**: 449-456.
- Stefani G, Romano D, Cavicchi A (2006) Consumer expectations, liking and willingness to pay for specialty foods: Do sensory characteristics tell the whole story? *Food Quality and Preference* **17**: 53-62.
- Stevens MA, Kader AA, Albrightolton M, Algazi M (1977) Genotypic variation and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **102**: 680-689.
- Stevens MA, Rudich J (1978) Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality in the tomato. *Hortscience* **13**: 673-678.
- Stewart WM, Dibb DW, Johnston AE, Smyth TJ (2005) The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal* **97**: 1-6.
- Stommel JR (2007) Genetic enhancement of tomato fruit nutritive value. A: Razdan MK i Mattoo AK eds. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato*. New Hampshire: Science Publishers.
- Strange RN, Scott PR (2005) Plant disease: A threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology* **43**: 83-116.

- Suh HS, Hue MH (1978)** The segregation mode of plant height in the cross of rice varieties. XI. Linkage analysis of the semi-dwarfness of the rice variety 'Tongil'. *Korean Journal of Breeding* **10**: 1-6.
- Tadmor Y, Fridman E, Gur A, Larkov O, Lastochkin E, Ravid U, Zamir D, Lewinsohn E (2002)** Identification of malodorous, a wild species allele affecting tomato aroma that was selected against during domestication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**: 2005-2009.
- Tandon KS, Baldwin EA, Scott JW, Shewfelt RL (2003)** Linking sensory descriptors to volatile and nonvolatile components of fresh tomato flavor. *Journal of Food Science* **68**: 2366-2371.
- Tanksley SD, Bernachi D, Beck-Bunn T, Emmatty D, Eshed Y, Inai S, Lopez J, Petiard V, Sayama H, Uhlig J, Zamir D (1998)** Yield and quality evaluations on a pair of processing tomato lines nearly isogenic for the *Tm2(a)* gene for resistance to the tobacco mosaic virus. *Euphytica* **99**: 77-83.
- Tanksley SD (2004)** The genetic, developmental, and molecular bases of fruit size and shape variation in tomato. *Plant Cell* **16**: S181-S189.
- Tanno K, Willcox G (2006)** How fast was wild wheat domesticated? *Science* **311**: 1886-1886.
- Terzopoulos PJ, Bebeli PJ (2008)** DNA and morphological diversity of selected Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Scientia Horticulturae* **116**: 354-361.
- Terzopoulos PJ, Walters SA, Bebeli PJ (2009)** Evaluation of Greek tomato landrace populations for heterogeneity of horticultural traits. *European Journal of Horticultural Science* **74**: 24-29.
- Terzopoulos PJ, Bebeli PJ (2010)** Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Scientia Horticulturae* **126**: 138-144.
- Thompson AE, Tomes ML, Wann EV, McCollum JP, Stoner AK (1965)** Characterization of crimson tomato fruit color. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* **86**: 610-616.
- Thompson AJ, Tor M, Barry CS, Vrebalov J, Orfila C, Jarvis MC, Giovannoni JJ, Grierson D, Seymour GB (1999)** Molecular and genetic characterization of a novel pleiotropic tomato-ripening mutant. *Plant Physiology* **120**: 383-389.
- Tigchelaar EC, Tomes ML, Kerr EA, Barman RJ (1973)** A new fruit ripening mutant, non-ripening (*nor*). *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **23**: 33.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S (2002)** Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* **418**: 671-677.
- Ulrich D, Olbricht K (2011)** Fruit organoleptic properties and potential for their genetic improvement. A: Jenks MA i Bebeli PJ eds. *Breeding for Fruit Quality*: John Wiley & Sons, Inc.
- Valero D, Serrano M (2010)** *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. Boca Raton: CRC Press.
- Valles Rojo J (2007)** *Cocina y alimentación en los siglos XVI y XVII*: Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo.
- van de Wouw M, Kik C, van Hintum T, van Treuren R, Visser B (2010)** Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges. *Plant Genetic Resources-Characterization and Utilization* **8**: 1-15.
- van der Ploeg A, van der Meer M, Heuvelink E (2007)** Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: past and future perspectives. *Euphytica* **158**: 129-138.
- Verkerke W, Janse J, Kersten M (1998)** Instrumental measurement and modelling of tomato fruit taste. A: Marcelis LFM ed. *Second International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation*.
- Villand J, Skroch PW, Lai T, Hanson P, Kuo CG, Nienhuis J (1998)** Genetic variation among tomato accessions from primary and secondary centers of diversity. *Crop Science* **38**: 1339-1347.
- Vrebalov J, Ruezinsky D, Padmanabhan V, White R, Medrano D, Drake R, Schuch W, Giovannoni J (2002)** A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (*Rin*) locus. *Science* **296**: 343-346.
- Wandel M, Bugge A (1997)** Environmental concern in consumer evaluation of food quality. *Food Quality and Preference* **8**: 19-26.
- Watada AE, Aulenbach BB (1979)** Chemical and sensory qualities of fresh-market tomatoes. *Journal of Food Science* **44**: 1013-1016.
- Williams CE, Stclair DA (1993)** Phenetic relationships and levels of variability detected by Restriction Fragment Length Polymorphism and Random Amplified Polymorphic DNA analysis of cultivated and wild accessions of *Lycopersicon esculentum*. *Genome* **36**: 619-630.
- Xiao H, Jiang N, Schaffner E, Stockinger EJ, van der Knaap E (2008)** A retrotransposon-mediated gene duplication underlies morphological variation of tomato fruit. *Science* **319**: 1527-1530.
- Yates HE, Fray A, Doganlar S, Frampton A, Eannetta NT, Uhlig J, Tanksley SD (2004)** Comparative fine mapping of fruit quality QTLs on chromosome 4 introgressions derived from two wild tomato species. *Euphytica* **135**: 283-296.

- Yiridoe EK, Bonti-Ankomah S, Martin RC (2005)** Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: A review and update of the literature. *Renewable Agriculture and Food Systems* **20**: 193-205.
- Zechmeister L, LeRosen AL, Went FW, Pauling L (1941)** Prolycopene, a naturally occurring stereoisomer of lycopene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **27**: 468-474.
- Zeven AC (2002)** Traditional maintenance breeding of landraces: 2. Practical and theoretical considerations on maintenance of variation of landraces by farmers and gardeners. *Euphytica* **123**: 147-158.
- Zhang HB, Budiman MA, Wing RA (2000)** Genetic mapping of jointless-2 to tomato chromosome 12 using RFLP and RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics* **100**: 1183-1189.

# Capítol 6.

Discussió general







## 6. DISCUSSIÓ GENERAL

Les varietats tradicionals de plantes autògames estan formades per poblacions de línies més o menys fixades amb un cert grau de diversitat genètica i fenotípica (Zeven, 2000, 2002). En el cas del tomàquet, els agricultors cultiven, a les seves parcel·les, materials força homogenis (en aquesta espècie la pressió de selecció que realitzen els agricultors sobre les seves poblacions cultivades és molt alta, mostrejant pocs individus per constituir la llavor de sembra de la següent generació). No obstant, a nivell global, existeix un cert grau de diversitat genètica intra-varietal, doncs cada agricultor cultiva la seva pròpia població.

En el marc d'aquesta tesi doctoral s'ha avaluat la diversitat genètica de les varietats tradicionals de tomàquet *Montserrat*, *Pera de Girona* i *Penjar*. Precedent als estudis que es presenten s'ha realitzat una col·lecta de germoplasma a tot el territori català, recollint un total de 315 entrades. Aquests materials, complementats amb 119 entrades conservades al Centro de Recursos Fitogenéticos (CRF) i procedents de col·lectes prèvies realitzades els anys 1990 (Nuez, 1996), han constituït el material vegetal sobre el qual s'ha desenvolupat la tesi. De més del 80% de les entrades noves col·lectades s'han enviat duplicats al CRF per tal d'assegurar la seva conservació a llarg temps. Aquesta actuació constitueix un primer èxit de la tesi doctoral, doncs es garanteix la conservació *ex situ* d'una part important de la variabilitat genètica del tomàquet *Montserrat*, *Pera de Girona* i *Penjar*, limitant l'erosió genètica que sofreixen les varietats tradicionals de tomàquet (Cebolla-Cornejo *et al.*, 2007).

Més específicament, els experiments han estat dissenyats per estudiar: a) la diversitat genètica intra-varietal de les varietats *Montserrat*, *Pera de Girona* i *Penjar*, així com les diferències existents entre elles (incloent dades sensorials), i b) la base genètica de la llarga conservació del *tomàquet de Penjar*. Una vegada efectuats aquests estudis s'han abordat aspectes referents a la seva utilització pràctica com a font de valor afegit per millorar l'acceptació d'aquestes varietats en el mercat. En aquest àmbit s'ha realitzat: (c) un programa de millora genètica per tal d'obtenir línies de cadascuna de les varietats tradicionals que reuneixin una elevada qualitat organolèptica amb un bon comportament agronòmic, i d) l'estudi de l'efecte de la postcollita sobre l'aroma del tomàquet de *Penjar*, caràcter determinant en l'acceptació per part dels consumidors.

### 6.1. Estructura de les poblacions cultivades: diversitat agromorfològica i sensorial

La caracterització prèvia realitzada en el conjunt d'entrades col·lectades del tipus *Montserrat* i *Pera de Girona* (97 entrades) i *Penjar* (118 entrades) al llarg de 3 anys d'assajos va mostrar una gran diversitat genètica i va permetre identificar les principals característiques varietals (Bosch *et al.*, 2006; Casals i Bosch, 2007a, b). Partint d'aquestes dades es van seleccionar les entrades representants del màxim de variabilitat pel conjunt de caràcters estudiats en els assajos de caracterització (agronòmics, morfològics i sensorials). Aquest enfocament va permetre treballar amb una col·lecció reduïda de materials, però garantint una màxima representació de la variabilitat cultivada. Les entrades van ser estudiades a nivell de fons genètic (Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP, Vos *et al.*, 1995)) i per caràcters agronòmics, morfològics i sensorials.

Els resultats mostren una gran diversitat intra-varietal en les tres varietats estudiades. Respecte al tomàquet de *Montserrat* i *Pera de Girona* s'observa, alhora, un considerable solapament entre elles. De fet les entrades de les dues varietats només es poden distingir pels caràcters relacionats amb la forma externa del fruit (pes, número de lòculs, alçada i relació amplada/alçada). La variació intra-varietal mitjana (mesurada mitjançant el

Coefficient de Variació, CV) pel conjunt de caràcters estudiats ( $CV_{\text{Montserrat}} = 33,9\%$ ;  $CV_{\text{Pera Girona}} = 32,7\%$ ) és similar a la variació mitjana observada en el conjunt de materials estudiats ( $CV = 35,1\%$ ; incloent els testimonis *Cuore di Bue*, *Muchamiel*, *Marmande* i *Valenciano*). Els caràcters manifestant major heterogeneïtat intra-varietal foren la sensibilitat a fisiopaties (clivellat i necrosi apical), el percentatge de quallat, la tendència al creixement apical de la inflorescència, el gruix del pericarpí, el grau de buidor de la cavitat locular i la intensitat de coll verd. Per contra els caràcters morfològics externs del fruit (especialment pes, alçada i relació amplada/alçada) són els que presenten una menor heterogeneïtat intra-varietal. Són caràcters que determinen l'aparença externa dels fruits, per la qual cosa constitueixen el principal indicador emprat pels consumidors per reconèixer una varietat o una altra. Semblaria, doncs, que els agricultors han emprat aquests caràcters com a criteri principal per realitzar la selecció dins aquestes varietats (una pressió de selecció elevada sobre un caràcter tendeix a reduir la seva diversitat (Bernardo, 2002)), conservant un cert grau d'heterogeneïtat per la resta de caràcters.

En relació al tomàquet de *Penjar* una elevada diversitat intra-varietal era esperada, doncs aquesta varietat tradicional es caracteritza únicament per la llarga conservació (78,3 a 139,0 dies de postcollita) i la mida reduïda del fruit, existint en els mercats tomàquets de *Penjar* amb morfologies molt diferents. A part de la morfologia del fruit, la variabilitat també és molt gran per la resta de caràcters agromorfològics, p.e. el pes del fruit oscil·la entre 25,2 i 121,4 g, o, respecte a l'estructura de la inflorescència, s'han observat entrades amb una inflorescència unípara (1 raquis) i entrades amb fins a 26,4 raquis per inflorescència. De fet la diversitat per caràcters agromorfològics observada dins la varietat *Penjar* ( $CV=65,2\%$ ) és gairebé el doble que la del tomàquet de *Montserrat* ( $CV=33,9\%$ ) i *Pera de Girona* ( $CV=32,7\%$ ). Aquestes dades indiquen l'extrema heterogeneïtat del tipus varietal *Penjar*, el qual està format per un conjunt de línies molt diferents entre elles, però, com ja s'ha dit, amb un tret comú: la llarga conservació. Els caràcters amb major heterogeneïtat foren la sensibilitat a fisiopaties (clivellat i necrosi apical), l'estructura de la inflorescència (nº de flors i raquis per inflorescència), el grau de buidor de la cavitat locular i la intensitat de coll verd. Alhora es va observar l'existència d'entrades amb creixement determinat, fet que ens pot fer pensar en introgressions recents des de materials comercials, doncs aquest caràcter, controlat pel gen recessiu *self-pruning* (*sp*), fou descrit per primera vegada per MacArthur (1932) com una mutació ocorreguda en una varietat comercial a Florida.

Existeixen pocs estudis que realment profunditzin en la diversitat intra-varietal per caràcters agronòmics i morfològics, doncs generalment s'utilitza una aproximació molecular (Carelli *et al.*, 2006; García-Martínez *et al.*, 2006). A més, en pocs casos les entrades estudiades són seleccionades partint d'una pre-caracterització exhaustiva de la varietat, com s'ha fet en aquest treball (aquesta pre-selecció garanteix la representativitat de la mostra que s'agafa dins de la varietat). No obstant, sembla que una elevada diversitat intra-varietal per caràcters agronòmics i morfològics és un patró comú en les varietats tradicionals de tomàquet. Per exemple Terzopoulos i Bebeli (2010) van observar que la diversitat fenotípica intra-varietal observada en una col·lecció de diferents varietats tradicionals gregues (valor promig=0,37, rang: 0,06-0,59, calculada emprant l'estadístic Nei de diversitat genètica (Nei, 1973)) presentava valors propers a la diversitat total de la col·lecció (valor promig=0,47, rang: 0,08-0,65). Resultats similars han estat obtinguts per Mazzucato *et al.* (2010) quan van estudiar les poblacions cultivades de la varietat tradicional italiana *A pera Abruzzese*. En aquest sentit, els nostres resultats aporten noves informacions sobre el grau de diversitat per caràcters agromorfològics de les varietats tradicionals de tomàquet, així com en quins caràcters és més abundant.

Respecte al perfil sensorial també s'observa una gran variabilitat intra-varietal, existint grans diferències dins del tipus *Montserrat* i *Pera de Girona* pels diferents caràcters estudiats pel panel de tast (dolçor, acidesa, percepció de la pell, farinositat, aroma i gust). Cada varietat no té un perfil sensorial únic, i ambdues varietats

no es poden distingir. Aquest resultat és sorprenent, doncs generalment les varietats tradicionals són conegudes i valorades pels consumidors per presentar un perfil sensorial singular (de fet estan associades a preparacions gastronòmiques diferents). No podem saber, però, si aquesta dissemblança sensorial intra-varietal té l'origen en l'evolució recent de les varietats tradicionals estudiades (tenint en compte la considerable taxa de creuament en el tomàquet, de 1 a 5% en cultiu exterior (Jones, 1916; Lesley, 1924; Rick, 1949), és probable que es produeixin de manera recurrent encreuaments amb varietats forànies o millorades) o si aquesta diversitat per qualitat organolèptica forma part de l'estructura inicial de les varietats tradicionals. El coneixement popular ens faria pensar en la primera opció. En qualsevol cas, l'estudi posa de relleu que existeixen perfils sensorials molt diferents dins de les varietats tradicionals *Montserrat* i *Pera de Girona*, per la qual cosa s'hauria perdut l'associació entre morfologia del fruit i perfil sensorial. Aquest fet no és insignificant, doncs existeixen molt pocs estudis que posin de relleu la diversitat per caràcters sensorials dins les varietats tradicionals de tomàquet. Algunes aproximacions indirectes han estat realitzades mitjançant anàlisi sensorial (Sinesio *et al.*, 2007; Ercolano *et al.*, 2008; Carli *et al.*, 2009) i l'estudi dels compostos químics relacionats amb la qualitat organolèptica (Andreakis *et al.*, 2004; Ercolano *et al.*, 2008). Però, segons el nostre coneixement, únicament Lojudice *et al.* (1995) van avaluar específicament el grau de variabilitat intra-varietal per qualitat organolèptica. En aquest treball els autors van estudiar la composició química de 11 línies de la varietat italiana *San Marzano*, i van concloure que existia una elevada heterogeneïtat entre les poblacions cultivades, no podent diferenciar la varietat tradicional dels híbrids comercials emprats com a testimoni en l'estudi. Per tant, el nostre estudi complementa les aportacions realitzades per Lojudice *et al.* (1995) amb dades sensorials, més precises a l'hora de descriure els atributs organolèptics (Causse *et al.*, 2007).

Respecte al tomàquet de *Penjar* no es va fer una exploració mitjançant el panel de tast de la diversitat intra-varietal existent pels caràcters sensorials (més endavant comentarem les diferències observades entre 4 genotips pel caràcter aroma). No obstant, les grans diferències observades entre entrades pels °Brix, indicador de la dolçor del tomàquet (Malundo *et al.*, 1995; Baldwin *et al.*, 1998; Abegaz *et al.*, 2004), fan intuir l'existència d'una abundant variabilitat intra-varietal per qualitat organolèptica. En les 27 entrades estudiades els °Brix van oscil·lar entre 5,0 i 9,5, *i.e.* un rang on el valor màxim gairebé duplica el valor mínim, i on algunes entrades presenten valors molt elevats. En promig els °Brix en el tomàquet oscil·len entre 3 i 5 en els tomàquets de mida gran, 5 i 7 en els tomàquets de mida mitjana i 9 i 15 en els del tipus *cherry* (Beckles, 2012). Com s'ha comentat a la introducció, diversos estudis mostren que els sòlids solubles estan negativament correlacionats amb la mida del fruit (Goldenberg i von der Pahlen, 1966; Ibarbia i Lambeth, 1971; Prudent *et al.*, 2009). Dins el tomàquet de *Penjar* aquesta correlació també és significativa ( $r=-0,54^{p<0,001}$ ). Per tant els valors elevats pels °Brix en alguns genotips *Penjar* no són insòlits, donada la mida reduïda del fruit d'algunes entrades (pes mínim: 25,2 g).

Aquesta heterogeneïtat per caràcters sensorials constitueix una barrera important a l'hora de promocionar unes varietats que haurien de distingir-se en el mercat per la seva *qualitat superior*. L'existència de genotips amb diferents perfils sensorials pot afegir confusió als consumidors, minvant l'acceptació d'aquestes varietats en el mercat. Per aquest motiu cal dissenyar estratègies per millorar el perfil sensorial dels materials comercialitzats, conservant els caràcters morfològics distintius de cada varietat tradicional. Aquest ha estat un dels objectius d'aquesta tesi doctoral i es discuteix en l'apartat 6.4.

## 6.2. Estructura de les poblacions cultivades: diversitat de fons genètic

Els resultats de l'anàlisi molecular mitjançant AFLP mostren dos graus de polimorfisme diferents: d'una banda tan el tomàquet *Montserrat* (6,2% de loci polimòrfics) com *Pera de Girona* (7,4%) presenten una variabilitat genètica baixa, no existint diferències a nivell de fons genètic entre ambdues (no es va trobar cap marcador específic que diferenciés *Montserrat* de *Pera de Girona*). Alhora tampoc es van observar diferències importants amb el testimoni *Valenciano*, però sí amb la resta de testimonis (*Raf*, *Muchamiel*, *Cuore di Bue* i *Marmande*), els quals es diferencien clarament del tomàquet *Montserrat/Pera de Girona* i *Valenciano*, així com entre ells. Per contra el tomàquet de *Penjar* presenta un nivell de polimorfisme elevat (18,1% de loci polimòrfics), proper al detectat considerant conjuntament totes les entrades *Montserrat-Pera de Girona* més els testimonis *Cuore di Bue*, *Muchamiel*, *Marmande* i *Valenciano* (19,8%). Un valor també proper a l'estimat en l'estudi de la varietat *Penjar* afegint com a testimonis els mutants de maduració *alc*, *nor*, *rin* i *Nr* (21,9%). Aquests mutants de maduració van ser cedits pel Tomato Genetic Resources Center (TGRC) i són materials presumiblement filogenèticament molt distants. Els resultats són consistents amb el nivell de polimorfisme detectat per altres autors: 14,6% (Tam *et al.*, 2005) i 9,3% (Park *et al.*, 2004). No obstant les comparacions amb d'altres estudis són complexes donat que els resultats depenen del número i tipus d'entrades avaluades (*p.e.* la inclusió d'ancestres silvestres pot augmentar molt el nivell de polimorfisme, com mostren els estudis de Garcia-Martinez *et al.* (2006) i Pratta *et al.* (2011)) i el número i tipus de combinacions d'iniciadors emprats.

Respecte a la relació amb les dades resultants del fenotipat, s'observa una baixa correlació amb les dades moleculars: d'una banda, en el cas del tomàquet *Montserrat-Pera de Girona*, l'elevada variabilitat observada pels caràcters agronòmics, morfològics i sensorials no concorda amb el baix nivell de polimorfisme detectat; d'una altra banda, en el cas del tomàquet de *Penjar*, tot i que l'elevada variabilitat agromorfològica coincideix amb un alt nivell de polimorfisme molecular, el test de Mantel (Mantel, 1967) emprat per estudiar la correlació entre les dues matrius estava per sota del llindar de la significació estadística. Així doncs, les dades moleculars no expliquen la variació agromorfològica i sensorial observada en les tres varietats tradicionals. Diferents factors permeten explicar aquesta divergència: a) si bé els AFLP són uns marcadors àmpliament distribuïts en el genoma (Meudt i Clarke, 2007), en el tomàquet s'ha observat que la combinació *EcoRI-MseI*, utilitzada en aquest estudi, presenta una tendència a estar agrupada al voltant de les regions centromèriques (Saliba-Colombani *et al.*, 2000; Bonnema *et al.*, 2002), i correspon en molts casos a regions no codificants de l'ADN (Grandillo i Tanksley, 1996). Així doncs, existeix una elevada probabilitat de que el polimorfisme detectat a nivell genètic no s'expressi al nivell fenotípic; b) en segon lloc diversos estudis mostren que la diversitat per caràcters agromorfològics en el tomàquet està regulada, essencialment, per variacions en un número reduït de gens (Williams i Stclair, 1993), com s'ha demostrat en el cas de la morfologia del fruit (Tanksley, 2004). Per tant, no és estrany que no existeixi una bona correlació entre la matriu de dades del fenotipat i l'obtinguda mitjançant AFLP. Una falta de correlació que també ha estat descrita per Ercolano *et al.* (2008) i Mazzucato *et al.* (2008; 2010) entre d'altres.

De fet les diferències majors (i gairebé úniques) entre les varietats *Montserrat* i *Pera de Girona* estan relacionades principalment amb la morfologia del fruit (aplanada en el cas del tomàquet de *Montserrat* i piriforme en el tomàquet *Pera de Girona*). Diversos treballs han descrit que les diferències en la morfologia del fruit estan controlades per un número reduït de gens: entre 4 i 17 loci explicarien entre el 19% i el 79%, respectivament, de la variació observada en el tomàquet cultivat (Barrero i Tanksley, 2004; Brewer *et al.*, 2007; Gonzalo i van der Knaap, 2008). Entre ells les mutacions *sun* (Xiao *et al.*, 2008) i *ovate* (Liu *et al.*, 2002) controlen l'elongació del fruit, i són candidates a explicar les diferències observades en el nostre estudi. De fet

Sabatini *et al.* (2006), en un cas semblant al nostre, van descriure que les diferències morfològiques entre les varietats tradicionals italianes *Pera d'Abruzzo* (fruits esfèrics) i *Cuore di Bue di Albenga* (fruits piriformes), les quals presenten una elevada similitud genètica, es podien explicar per una mutació en el locus *OVATE*. Per altra banda, la mutació *sun*, ocorreguda a Europa durant el procés de diversificació que va donar lloc a les varietats tradicionals, és molt present en les varietats tradicionals espanyoles, segons han descrit Rodriguez *et al.* (2011). Una possible hipòtesi, doncs, és que el tipus *Pera de Girona* s'originés dins el tipus *Montserrat* a partir d'una mutació en algun d'aquests loci, la qual hauria estat seleccionada i mantinguda en les poblacions cultivades pels agricultors de l'àrea de Girona. Això explicaria les poques diferències observades entre ambdues varietats (cal remarcar, però, que aquesta hipòtesi té un element contradictori: si *Pera de Girona* s'origina a partir d'una mutació ocorreguda dins de *Montserrat* (o viceversa), caldria esperar una menor variabilitat genètica dins d'una de les dues varietats, atenent que no és plausible que tots els genotips d'una varietat hagin mutat en el mateix locus). Es necessiten, doncs, més estudis per dilucidar aquest aspecte.

El diferent nivell de polimorfisme observat entre el tomàquet de *Penjar* i el tomàquet *Montserrat-Pera de Girona* podria explicar-se per la base genètica dels trets distintius de cada varietat. En aquest sentit, com es descriu a continuació, la llarga conservació del tomàquet de *Penjar* està controlada per un sol gen (*alc*). Aquest gen s'hauria introgressat en fons genètics diferents. En aquesta varietat la conservació és el principal caràcter seleccionat pels agricultors i, com a resultat d'encreuaments fortuïts, la segregació en altres aspectes com la forma o el color no és un problema pels agricultors. Aquesta nova variació agromorfològica i genètica s'hauria anat fixant progressivament donant lloc a una varietat amb una gran variabilitat intra-varietal. Per contra els trets diferencials del tomàquet *Montserrat* i del *Pera de Girona* són els caràcters morfològics del fruit (no únicament la diferència entre la forma piriforme i aplanada, sinó també la presència de costelles marcades, la presència de buidor a la cavitat locular o el gruix del pericarp), els quals tenen una herència poligènica (Tanksley, 2004). En aquesta varietat, doncs, sembla més improbable que a partir de diversos orígens s'hagi assolit aquesta morfologia, i podem assumir que possiblement totes les variants del tomàquet *Montserrat* i *Pera de Girona* tenen els mateixos ancestres, motiu pel qual comparteixen bona part del fons genètic.

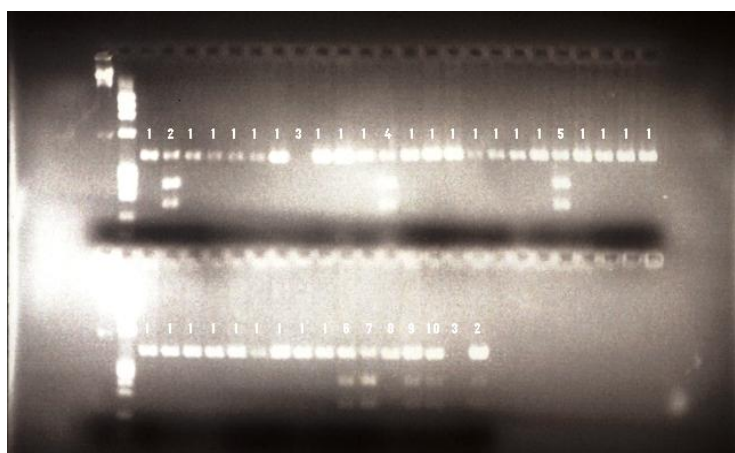
### **6.3. Base genètica de la conservació en el tomàquet de *Penjar***

Diverses mutacions que afecten la postcollita del tomàquet han estat descrites: *rin* [ripening inhibitor] (Robinson i Tomes, 1968), *nor* [non-ripening] (Tigchelaar *et al.*, 1973), *Nr* [never ripe] (Rick i Butler, 1956), *alc* [alcobaça] (Almeida, 1961), *Cnr* [colorless non-ripening] (Thompson *et al.*, 1999), *frm* [firm ripening mutant] (Schuelter *et al.*, 2002) i *DFD* [delayed fruit deterioration] (Saladie *et al.*, 2007). D'entre elles, es van considerar inicialment com candidates a ser responsables del retard en la maduració del tomàquet de *Penjar* les mutacions *rin*, *nor* i *alc*. Els motius: a) la similitud del tomàquet de *Penjar* amb els fenotips d'aquests tres mutants descrits en la bibliografia, i b) la proximitat amb la regió geogràfica on es van descriure inicialment les mutacions *nor*, descrita per primera vegada a Itàlia (Soressi, 1975), i *alc*, descrita per primera vegada a Portugal (Almeida, 1961).

Per avaluar si alguna d'aquestes mutacions estava relacionada amb la llarga conservació del tomàquet de *Penjar* es va amplificar la regió RIN (segons descrit per Vrebalov *et al.* (2002)) i els tres exons del gen NAC.NOR (d'acord amb Giovannoni *et al.* (2004)) en 3 entrades de tomàquet de *Penjar* i els testimonis LA3012 (*rin*), LA3134 (*alc*) i LA3770 (*nor*). Els resultats van revelar que les 3 entrades del tipus *Penjar* i el testimoni LA3134 (*alc*) presentaven el mateix polimorfisme en el segon exó del gen NAC.NOR (una substitució de timina (T) per adenina (A) a la posició 317 de la seqüència de codificació). Utilitzant la seqüència de nucleòtids es va dissenyar un marcador CAP (Cleaved Amplified Polymorphism) per avaluar si la resta d'entrades *Penjar*

presentaven la mateixa mutació. Els resultats de l'anàlisi van permetre identificar que les 27 entrades del tipus *Penjar* presentaven el mateix polimorfisme (Figura 6.1), per la qual cosa es va concloure que la mutació *alc* era la responsable de la llarga conservació en el tomàquet de *Penjar*.

Els resultats mostren que *alc* i *nor* són al·lèlics, resolent així les dissensions existents des dels anys 1980 sobre la localització de la mutació *alc*: mentre Lobo *et al.* (1984) havien conclòs que *alc* i *nor* eren al·lèlics, Kopeliovitch (1980) i Mutschler *et al.* (1984a) havien proposat que es trobaven en dos loci diferents i separats 17cM. Fins i tot Haki *et al.* (1984) havien proposat que es trobava localitzat en un cromosoma diferent (cromosoma 2). Aquestes divergències restaven encara sense dilucidar, tal com han manifestat Garg *et al.* (2008) i Kosma *et al.* (2010) en els treballs més recents. El nostre treball conclou aquesta discussió en la literatura científica, mostrant que es tracta de dues mutacions al·lèliques.



**Figura 6.1.** Presència del marcador CAP en la col·lecció d'entrades *Penjar* i testimonis avaluats. Els productes de la PCR van ser digerits amb Cfr10I. L'electroforesi es va fer en un gel d'agarosa 2,5% i la tinció mitjançant bromur d'etidi. Les dobles bandes (absència de polimorfisme a la posició 317 del cds del segon exó del gen NAC-NOR) estan presents als controls de la varietat *Montserrat* i als mutants de conservació, excepte a LA3134 (*alc*) i les entrades *Penjar*. Llegendra: (1) diferents entrades de la varietat *Penjar*; (2) LC327, (4) LC335, (5) LC44 i (9) LR2: entrades de la varietat *Montserrat*; (3) control; (6) LA3770 (*nor*); (7) LA3012 (*rin*); (8) LA3134 (*alc*); (10) LA0162 (*Nr*).

A més de la presència d'aquest gen mendelià, altres elements han d'intervenir en la llarga conservació del tomàquet de *Penjar*, doncs no tots els genotips amb la mutació *alc* presenten una conservació molt elevada (el testimoni *alc* LA3134 va presentar una conservació de 20,8 dies, així com en la bibliografia s'han descrit materials amb la mutació *alc* en homozigosi presentant conservacions que oscil·len entre els 10 i els 22 dies (Mutschler, 1984b; Mutschler *et al.*, 1988; Mutschler *et al.*, 1992). L'estudi de la correlació genotípica entre les variables agromorfològiques avaluades mostra que existeix una relació negativa entre la conservació i el pes del fruit ( $r=-0,799^{p<0,001}$ ), l'alçada ( $r=-0,590^{p<0,001}$ ), l'amplada ( $r=-0,720^{p<0,001}$ ) i el número de lòculs ( $r=-0,681^{p<0,001}$ ). Així doncs, l'efecte de la mutació *alc* sobre la conservació depèn del fons genètic, i en el cas del tomàquet de *Penjar* l'elevada conservació es produeix amb genotips que presenten els fruits de mida reduïda. Això explica el fet que dins aquesta varietat només existeixin línies amb el fruit petit, doncs són les que millor es conserven (entre les entrades estudiades, aquelles amb un pes del fruit >100g presenten una conservació aproximadament un mes inferior a les entrades amb un pes del fruit <50g). L'efecte del fons genètic sobre la conservació dels mutants de maduració ha estat posat de relleu per nombrosos autors (Mutschler *et al.*, 1992; Garg *et al.*, 2008; Rodriguez *et al.*, 2010). No obstant, segons el nostre coneixement, la correlació amb la mida del fruit no ha estat descrita prèviament. Aquests resultats poden ser de gran interès pels programes de millora que utilitzin el gen *alc* per incrementar la postcollita del tomàquet.

En conclusió, la llarga conservació del tomàquet de *Penjar* és el resultat de dos processos paral·lels: a) la introgressió del gen *alc* en diferents fons genètics (fet que explica l'elevada diversitat genètica del tomàquet de *Penjar*), i b) la selecció per part dels agricultors de materials amb el fruit petit. Aquesta estratègia de selecció (genotips amb el fruit petit) és, generalment, inconscient per part dels agricultors, que es limiten a utilitzar com a llavor de sembra la dels tomàquets que es conserven més<sup>1</sup>.

#### **6.4. Desenvolupament d'estratègies per promoure la qualitat organolèptica en les varietats tradicionals de tomàquet**

Els resultats de l'aproximació agromorfològica, sensorial i molecular mostren que la variabilitat intra-varietal de les varietats *Montserrat*, *Pera de Girona* i *Penjar* és molt elevada i afecta als caràcters relacionats amb la qualitat organolèptica. En conseqüència la promoció *per se* d'aquestes varietats com a productes d'elevada qualitat no correspondria a una situació real. Per consolidar els mercats de qualitat associats a aquestes varietats és necessari seleccionar els materials i identificar les pràctiques de maneig que maximitzin els atributs organolèptics. Aquests són, al cap i a la fi, els atributs que han fet que els consumidors les apreciïn i en paguin preus superiors.

Donada la diferent naturalesa de les varietats *Montserrat-Pera de Girona* (tomàquet d'amanir) i *Penjar* (tomàquet consumit després d'un temps de postcollita), es van utilitzar dos enfocaments diferents per millorar la seva acceptació en el mercat: 1) realitzar un programa de millora genètica per obtenir línies superiors per qualitat organolèptica en el tomàquet de *Montserrat-Pera de Girona*, i 2) estudiar l'evolució del perfil aromàtic del tomàquet de *Penjar* al llarg de la postcollita i seleccionar les millors línies per perfil aromàtic.

##### *6.4.1. Obtenció d'una línia millorada per qualitat organolèptica en el tomàquet Pera de Girona*

Un dels objectius de la tesi doctoral era la realització d'un programa de millora genètica que permetés la selecció de les millors línies per qualitat organolèptica i rendiment dins el tipus varietal *Montserrat* i *Pera de Girona*. En acord amb els usos gastronòmics d'aquestes varietats, generalment consumides crues en amanida, es va esbossar el següent ideotip: morfologia del fruit típica de la varietat, elevada dolçor, acidesa intermèdia, gust i aroma elevats, poca percepció de la pell, pericarpí no farinós i un grau de buidor de la cavitat locular baix. Pel que fa als caràcters agronòmics: un elevat rendiment i una baixa sensibilitat a fisiopaties (clivellat i necrosi apical). La caracterització dels materials provinents de col·lectes no va permetre identificar cap entrada que aglutinés bones puntuacions en tots els caràcters definits a l'ideotip, per la qual cosa es va planificar un programa de millora genètica.

La millora genètica per a qualitat organolèptica en tomàquet és un àmbit on actualment s'estan realitzant grans esforços d'investigació (Díez i Nuez, 2008; Causse *et al.*, 2011). Les principals estratègies emprades són: l'estudi de la capacitat combinatòria de diferents línies amb l'objectiu de seleccionar híbrids d'alt rendiment i elevada qualitat organolèptica; la introducció de mutacions monogèniques que afecten al color i la biosíntesi de carotens (Díez i Nuez, 2008); i el recurs a la variació existent en les espècies silvestres emparentades (Fernie *et al.*, 2006). Altres esquemes utilitzats són el mètode genealògic, l'avanç amb una llavor per generació (*single seed descent*) o la selecció recurrent. L'elecció del mètode de millora depèn del tipus de material vegetal, dels

---

<sup>1</sup> En acord amb les entrevistes realitzades a agricultors que cultiven el tomàquet de *Penjar* en diferents zones de Catalunya, la llavor d'aquesta varietat tradicional és extreta a les darreres etapes de la postcollita (març-abril) d'aquells fruits que han presentat una millor conservació (*resultats no publicats*).

objectius definits a l'ideotip, de la variabilitat genètica a la qual es té accés i de l'existència de gens d'interès a l'espècie o espècies emparentades. En el nostre cas els resultats de la caracterització mostraven que existia suficient variabilitat genètica pels caràcters d'interès. Alhora es cercava l'obtenció d'una línia pura, per tal de simplificar-ne la multiplicació si volíem transferir el material als agricultors. En tot cas, a llarg termini, la línia sempre es podria utilitzar com a parental d'híbrids. Per aquests motius es va emprar el mètode genealògic, el qual es basa en la selecció dins la variació obtinguda a partir d'un sol encreuament. Amb aquest propòsit es van seleccionar 6 entrades *Pera de Girona* amb bones puntuacions en caràcters d'interès i es va realitzar un encreuament dial·lèlic. Dels 15 encreuaments realitzats es va seleccionar la millor combinació F1, a partir de la qual, mitjançant autofecundacions successives, es va estudiar i seleccionar la seva progènie. Finalment a la F<sub>6</sub> es va seleccionar la varietat Montgrí (Figura 6.2), la qual es va autofecundar tres generacions més fins arribar a un 99,6 % d'homozigosi esperada (F<sub>9</sub>). El resultat és una línia pura millorada del tipus *Pera de Girona* que presenta un comportament agronòmic igual o superior al millor dels parentals i una qualitat organolèptica similar al millor dels parentals pels caràcters acidesa, percepció de la pell, cremositat, aroma, gust i acidesa, i superior als dos parentals pel caràcter dolçor. Així doncs el programa de millora realitzat ha permès obtenir una varietat que aglutina un bon comportament agronòmic amb una elevada qualitat organolèptica, millorant la dolçor dels parentals. Aquesta varietat ja és cultivada amb èxit per diferents agricultors del Maresme, La Selva, Baix Llobregat, Vallès Oriental i Vallès Occidental i es troba en fase de registre al *Registro de Variedades Protegidas* del *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino* (nº de registre: 20094886; denominació aprovada amb data 25.5.2011 (Boletín 3/2011 del 6.6.2011)). Alhora, i seguint un esquema de millora genètica similar (*resultats no publicats*), també s'ha obtingut una varietat millorada del tipus *Montserrat*. Aquesta varietat, denominada Sant Jeroni, també es troba en fase de registre (nº de registre: 20094887; denominació aprovada amb data 11.3.2010 (Boletín 2/2010 del 22.4.2010)).





**Figura 6.2.** Fruïts de la varietat millorada Montgrí del tipus varietal *Pera de Girona* (a dalt) i Sant Jeroni del tipus varietal *Montserrat* (a baix). Imatges del fruit immadur abans de la collita (esquerra) i madur (dreta).

#### 6.4.2. Efecte de la postcollita sobre la qualitat organolèptica del tomàquet de *Penjar* i selecció de línies d'elevada aroma

El tomàquet de *Penjar* és emprat, generalment, per fer *pa amb tomàquet* (ús majoritari), tot i que també és guisat per preparar salses i fer conserves, així com, més minoritàriament, es menja cru en amanides. Tenint en compte els usos gastronòmics, podem considerar que no tots els atributs sensorials tenen la mateixa repercussió sobre l'acceptació per part dels consumidors. Els atributs relacionats amb l'aroma i el gust són, segurament, més importants que les propietats texturals, donat que rarament el tomàquet de *Penjar* es menja cru i sencer. En aquest context, i partint de les valoracions sensorials realitzades en el transcurs del programa de selecció (Bosch *et al.*, 2006; Casals i Bosch, 2007b), es va determinar que l'aroma era el caràcter més important en aquest tipus varietal.

A més de l'efecte del fons genètic, dos factors semblen determinants sobre el perfil sensorial del tomàquet de *Penjar*: d'una banda la presència de l'al·lel *alc*, i de l'altra l'evolució dels compostos químics relacionats amb la qualitat organolèptica durant la postcollita. *Alcobaça* pertany al grup dels mutants de conservació, pels quals s'ha descrit àmpliament un efecte negatiu sobre la qualitat organolèptica (McGlasson *et al.*, 1987; Baldwin *et al.*, 2000; Fox i Giovannoni, 2007). Aquestes mutacions actuen sobre la síntesi d'etilè, l'hormona que desencadena gran part dels processos relacionats amb la maduració en els fruits climatèrics (Alexander i

Grierson, 2002; Matas *et al.*, 2009), i provoquen una disminució de la síntesi de carotens (Kopeliovitch *et al.*, 1982), responsables de la coloració del fruit (Hirschberg, 2001) i precursors d'un gran número de volàtils (Lewinsohn *et al.*, 2005; Vogel *et al.*, 2010). Segons descrit per diversos autors, aquestes mutacions provoquen una menor concentració de diferents volàtils. Per exemple McGlasson *et al.* (1987), comparant el cultivar *Rutgers* amb dos isolínies amb els gens *nor* i *rin* introgressats (6 retroencreuaments), van determinar que els mutants *rin* i *nor* eren deficients en més de 15 volàtils, entre els quals alguns dels que tenen major impacte sobre l'aroma del tomàquet (hexanal, hexanol, geranilacetona, 2-isobutiltiazol). Resultats similars van ser obtinguts posteriorment per Baldwin *et al.* (2000) i Kovács *et al.* (2009). Per contra, el contingut en sucres i àcids no sembla estar afectat per aquestes mutacions (Hobson, 1980; Kopeliovitch *et al.*, 1980; Mutschler, 1984b). Aquesta deficiència en el perfil aromàtic provoca una menor valoració per part dels consumidors de les varietats comercials de tipus *long-life* (Causse *et al.*, 2003). En aquest sentit, les mutacions *nor* i *rin* han estat les més estudiades, degut al seu ús més generalitzat en els programes de millora genètica (Paran i van der Knaap, 2007), mentre que es té un menor coneixement de l'efecte del gen *alc* sobre la qualitat organolèptica.

En segon lloc, durant la postcollita es produeixen importants canvis en la composició química del tomàquet (Boukobza i Taylor, 2002; de Leon-Sanchez *et al.*, 2009; Beckles, 2012). Els principals canvis són una disminució de la concentració d'àcids (Getinet *et al.*, 2008) i de volàtils (Stern *et al.*, 1994; Krumbein *et al.*, 2004) i la pèrdua de pes i el reblaniment del fruit (Brummell i Harpster, 2001). La intensitat amb què es modifiquen aquests atributs durant la postcollita depèn de les condicions de conservació i del genotip (Shewfelt *et al.*, 1988; Maul *et al.*, 2000; Boukobza i Taylor, 2002; de Leon-Sanchez *et al.*, 2009). Aquestes modificacions deuen ser molt importants en el tomàquet de *Penjar*, doncs es tracta d'una varietat que es pot conservar més de 6 mesos.

Atenent a aquestes consideracions, la modelització de l'evolució de la qualitat organolèptica durant la postcollita és un element important per dissenyar estratègies de millora del perfil sensorial d'aquesta varietat tradicional. Amb aquest objectiu es va dissenyar un experiment per identificar l'evolució de l'aroma durant la postcollita del tomàquet de *Penjar*, mitjançant anàlisi sensorial i instrumental de quatre entrades presentant diferents característiques agromorfològiques. Les dades obtingudes al moment de la collita i als 2, 4 i 6 mesos de postcollita van revelar que: 1) el tomàquet de *Penjar* es caracteritza per una aroma descrita com a *floral-punxant*, el qual presenta el màxim d'intensitat als 2 mesos de postcollita. Existeixen diferències entre entrades per aquest caràcter, existint materials amb molta i d'altres amb poca aroma; 2) el tomàquet de *Penjar* és deficiència, únicament, en el compost *cis*-3-hexenal, un dels volàtils amb major impacte sobre l'aroma en el tomàquet (Buttery *et al.*, 1987); 3) tots els volàtils disminueixen la seva concentració durant la postcollita, essent la reducció més important (50% de mitjana) en el període 0-2 mesos. Per tant, no es pot identificar un únic compost responsable de l'increment de la percepció sensorial de l'aroma *floral-punxant*, doncs l'evolució de les dades sensorials i els resultats de l'anàlisi química mostren un patró diferent. Aquesta evolució del perfil sensorial deu tenir l'origen en processos d'emascament/ desemascament, essent els volàtils  $\alpha$ -terpineol, *trans*-2-hexenal, 6-metil-5-hepten-2-one, *trans*-2-octenal,  $\alpha$ -pinè,  $\beta$ -ionona, 2,3-metilbutanol i fenilacetaldehid candidats a explicar l'evolució sensorial d'aquesta aroma especial del tomàquet de *Penjar*.

Els resultats posen de relleu que la qualitat organolèptica del tomàquet de *Penjar* presenta una aroma característica i singular, la qual es modifica durant la postcollita, presentant el màxim als 2 mesos de postcollita. La deficiència en *cis*-3-hexenal, un volàtil amb un gran impacte sobre l'aroma del tomàquet i que presenta notes de *verd fresc* i *aroma de tomàquet* (Tandon *et al.*, 2003; Krumbein *et al.*, 2004) deu ser determinant, permetent la percepció sensorial d'altres aromes emmascarats quan aquest volàtil és present en

concentracions importants. Alhora els resultats deixen entreveure que la mutació *alc* provoca un impacte reduït sobre la qualitat organolèptica, doncs, a excepció del *cis*-3-hexenal, la resta de concentracions detectades es trobaven dins el rang de valors que apareixen a la bibliografia pels tomàquets amb el genotip no mutat. Aquesta hipòtesi ja havia estat posada de relleu per alguns autors prèviament: l'any 1980 Kopeliovitch *et al.* (1980) descrivien que l'efecte del gen *alc* sobre el gust era menor que l'efecte de les mutacions *nor* i *rin* (en aquest treball no es van trobar diferències pel gust [dades sensorials] entre el cultivar *Rutgers* i una línia *alc*, mentre que les línies *nor* i *rin* van ser descrites com un 48 i un 44% inferiors, respectivament). Més recentment Kuzymenskii (2007) descrivia que el gen *alc* era el mutant de conservació que tenia menys efectes deleteris sobre la qualitat organolèptica. Els nostres resultats complementen aquests estudis amb dades sensorials i químiques. També cal remarcar que el tomàquet de *Penjar* és un bon model d'estudi sobre com afecta el gen *alc* a la qualitat organolèptica, doncs aquesta mutació es troba introgressada en fons genètics molt diferents.

Finalment, cal assenyalar que s'observen grans diferències de perfil aromàtic entre les entrades avaluades, anàlogament a la variabilitat observada pels °Brix. De fet mitjançant l'anàlisi instrumental es van detectar concentracions 5 cops superiors en dues entrades pels volàtils *trans*-2-hexenal, *cis*-3-hexenol, hexenal i 2-isobutiltiazol respecte a les altres dues entrades *Penjar* estudiades, i mitjançant l'anàlisi sensorial es van observar diferències importants entre materials. Per tant el tomàquet de *Penjar* d'alta qualitat s'aconsegueix a partir de combinacions genotip\*temps de postcollita. Per aquest motiu s'ha seleccionat una línia (nom comercial: Punxa) que presenta una elevada aroma i un bon comportament agronòmic, la qual està sent cultivada per nombrosos agricultors de la província de Barcelona (Figura 6.3). La varietat Punxa està en fase de registre al *Registro de Variedades Protegidas del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino* (nº de registre 20094885, denominació aprovada amb data 11.3.2010 (Boletín 2/2010 del 22.4.2010)). Aquesta obtenció vegetal constitueix una altra fita d'aquesta tesi doctoral.



**Figura 6.3.** Fruits de la varietat millorada Punxa. Imatges del fruit abans (esquerra) i després de la collita (dreta).

## 6.5. Observacions finals

Alguns atributs associats amb les varietats tradicionals de tomàquet són molt ben valorats pels consumidors, motiu pel qual aquests materials generalment ocupen un nínxol de mercat d'elevada qualitat. En els darrers anys, però, l'enllaç entre alguns atributs adjudicats popularment a les varietats tradicionals i el material vegetal cultivat es troba trencat. Aquesta situació ha estat posada de manifest en aquesta tesi doctoral, on s'ha detectat una elevada heterogeneïtat per caràcters organolèptics dins les tres varietats tradicionals estudiades. La variabilitat dels caràcters que posicionen les varietats tradicionals en el mercat de qualitat constitueix una barrera de cara a la seva comercialització. Els consumidors esperen trobar, sota l'etiqueta *varietat tradicional*, uns gustos, aromes i textures diferents dels que troben en les varietats millorades. Si aquestes expectatives no són assolides, es posa en risc el manteniment de l'elevada acceptació de què gaudeixen.

Amb la finalitat d'impulsar el cultiu i comercialització de les varietats tradicionals cal, doncs, reforçar la vinculació entre varietat tradicional i elevada qualitat organolèptica. Per abordar aquesta tasca és necessari conèixer les característiques que singularitzen el perfil sensorial de cada varietat tradicional, així com la variació existent dins les poblacions cultivades. El coneixement d'aquestes singularitats ha de permetre dissenyar estratègies per millorar i garantir la qualitat organolèptica del material que arriba al consumidor, fidelitzant-lo en el mercat.

El primer focus d'atenció ha de ser el component genètic. Els estudis realitzats mostren una elevada variabilitat genètica intra-varietal afectant als caràcters agronòmics, morfològics i sensorials. Aquesta variabilitat, que té una base genètica, permet realitzar programes de millora que tinguin per objectiu obtenir material vegetal que combini una elevada qualitat organolèptica i un bon comportament agronòmic, conservant els trets distintius de la varietat (generalment la morfologia externa del fruit). Aquesta tasca ha estat realitzada amb èxit en aquesta tesi doctoral, obtenint tres varietats millorades: Punxa (tomàquet de *Penjar*), Sant Jeroni (*Montserrat*) i Montgrí (*Pera de Girona*).

D'altra banda, i tenint en compte el gran impacte que té l'ambient sobre la qualitat organolèptica del tomàquet (Petersen *et al.*, 1998; Carli *et al.*, 2011), la identificació de les condicions ambientals que enriqueixen el perfil sensorial és una segona eina de gran interès. Aquest enfocament ha estat estudiat en el tomàquet de *Penjar*: la modelització de l'evolució dels aromes durant la postcollita ha permès identificar el moment òptim de qualitat (2 mesos de postcollita). Aquesta informació obre la porta a distingir en el mercat les combinacions genotip\*temps de postcollita millors per qualitat organolèptica.

En aquesta tesi doctoral es presenten, doncs, nombroses eines i metodologies per aconseguir impulsar les varietats tradicionals de tomàquet en els mercats de qualitat, a través de la millora dels caràcters que determinen l'acceptació per part dels consumidors.

## Referències bibliogràfiques

### Capítol 6. Discussió general

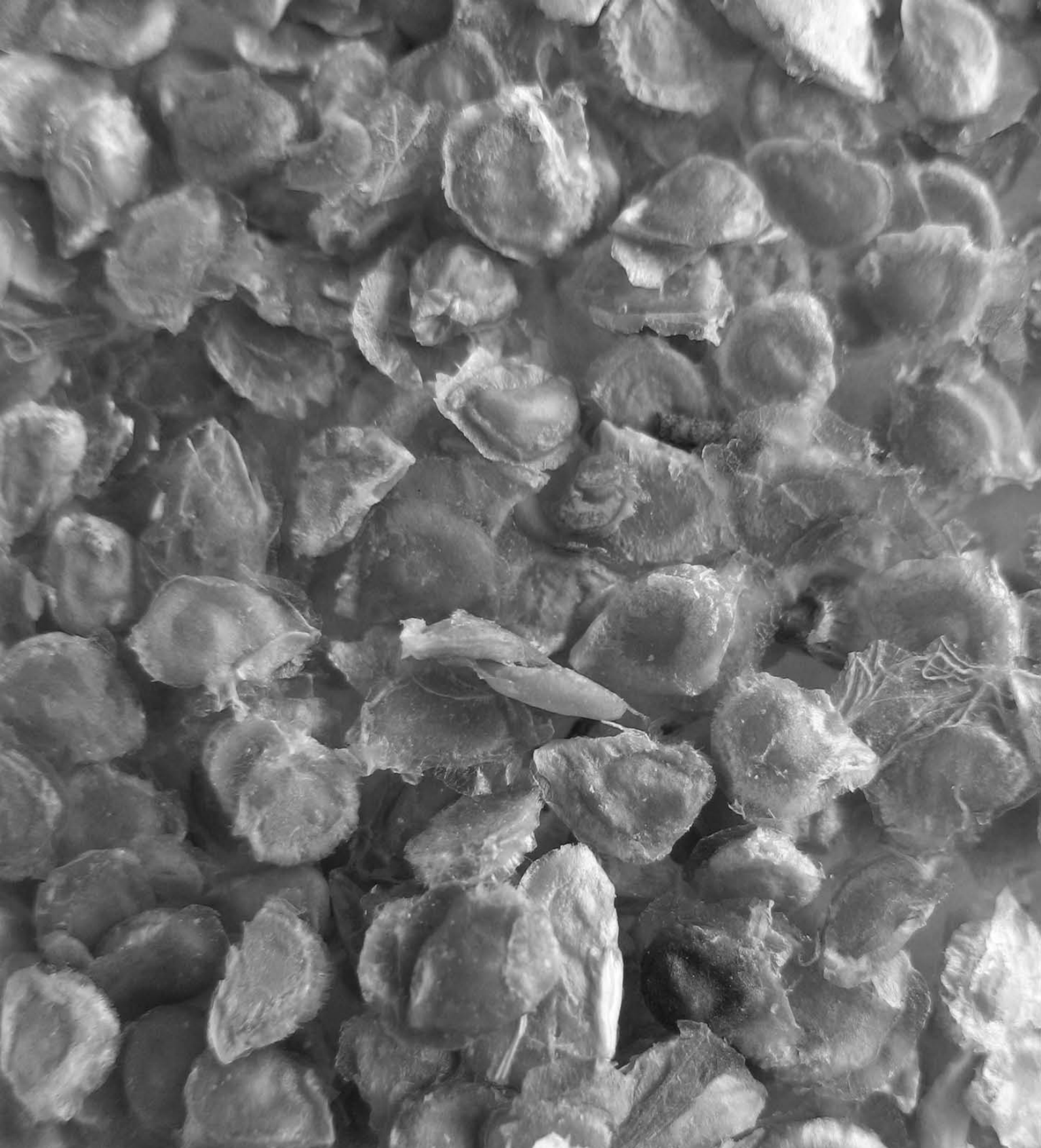
- Abegaz EG, Tandon KS, Scott JW, Baldwin EA, Shewfelt RL (2004)** Partitioning taste from aromatic flavor notes of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to develop predictive models as a function of volatile and nonvolatile components. *Postharvest Biology and Technology* **34**: 227-235.
- Alexander L, Grierson D (2002)** Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* **53**: 2039-2055.
- Almeida JLF (1961)** Um novo aspecto de melhoramento do tomate. *Agricultura* **10**: 43-44.
- Andreakis N, Giordano I, Pentangelo A, Fogliano V, Graziani G, Monti LM, Rao R (2004)** DNA fingerprinting and quality traits of corbarino cherry-like tomato landraces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**: 3366-3371.
- Baldwin EA, Scott JW, Einstein MA, Malundo TMM, Carr BT, Shewfelt RL, Tandon KS (1998)** Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **123**: 906-915.
- Baldwin EA, Scott JW, Shewmaker CK, Schuch W (2000)** Flavor trivia and tomato aroma: Biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *Hortscience* **35**: 1013-1022.
- Barrero LS, Tanksley SD (2004)** Evaluating the genetic basis of multiple-locule fruit in a broad cross section of tomato cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* **109**: 669-679.
- Beckles DM (2012)** Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* **63**: 129-140.
- Bernardo R (2002)** *Breeding for quantitative traits in plants*. Woodburn: Stemma Press.
- Bonnema G, Berg P, Lindhout P (2002)** AFLPs mark different genomic regions compared with RFLPs: a case study in tomato. *Genome* **45**: 217-221.
- Bosch L, Casals J, Almirall A, Romero del Castillo R, Casañas F, Sánchez E (2006)** Projecte de selecció i millora del tomàquet de Montserrat i del tomàquet de Penjar. A: *Memòria de resultats any 2006*. Castelldefels: Equip de Millora Vegetal per a Característiques Organolèptiques.
- Boukobza F, Taylor AJ (2002)** Effect of postharvest treatment on flavour volatiles of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **25**: 321-331.
- Brewer MT, Moyseenko JB, Monforte AJ, van der Knaap E (2007)** Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. *Journal of Experimental Botany* **58**: 1339-1349.
- Brummell DA, Harpster MH (2001)** Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology* **47**: 311-340.
- Buttery RG, Teranishi R, Ling LC (1987)** Fresh Tomato Aroma Volatiles - a Quantitative Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **35**: 540-544.
- Carelli BP, Gerald LTS, Grazziotin FG, Echeverrigaray S (2006)** Genetic diversity among Brazilian cultivars and landraces of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* **53**: 395-400.
- Carli P, Arima S, Fogliano V, Tardella L, Frusciante L, Ercolano MR (2009)** Use of network analysis to capture key traits affecting tomato organoleptic quality. *Journal of Experimental Botany* **60**: 3379-3386.
- Carli P, Barone A, Fogliano V, Frusciante L, Ercolano MR (2011)** Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality. *Bmc Plant Biology* **11**.
- Casals J, Bosch L (2007a)** Selecció per caràcters organolèptics en el tipus varietal de tomàquet Montserrat/Pera de Girona (*Lycopersicon esculentum* Mill.). A: *V Congrés ICEA*, pg. 667-673. Castelldefels: Institució Catalana d'Estudis Agraris.
- Casals J, Bosch L (2007b)** Variabilitat en el tomàquet de penjar (*Lycopersicon esculentum* Mill.) i selecció de línies pures d'interès comercial. A: *V Congrés ICEA*, pg. 659-665. Castelldefels: Institució Catalana d'Estudis Agraris.
- Causse M, Buret M, Robini K, Verschave P (2003)** Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science* **68**: 2342-2350.
- Causse M, Damidaux R, Rousselle P (2007)** Traditional and enhanced breeding for quality traits in tomato. A: Razdan MK i Mattoo AK eds. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato*. New Hampshire: Science Publishers.
- Causse M, Stevens R, Amor BB, Faurobert M, Muñoz S (2011)** Breeding for Fruit Quality in Tomato. A: Jenks MA i Bebeli PJ eds. *Breeding for Fruit Quality*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

- Cebolla-Cornejo J, Soler S, Nuez F (2007)** Genetic erosion of traditional varieties of vegetable crops in Europe: tomato cultivation in Valencia (Spain) as a case Study. *International Journal of Plant Production* **1**: 113-128.
- de Leon-Sanchez FD, Pelayo-Zaldivar C, Rivera-Cabrera F, Ponce-Valadez M, Avila-Alejandre X, Fernandez FJ, Escalona-Buendia HB, Perez-Flores LJ (2009)** Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* **54**: 93-100.
- Díez MJ, Nuez F (2008)** Tomato. A: Prohens J i Nuez F eds. *Handbook of plant breeding. Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae and Umbelliferae*. New York: Springer Science Publishers.
- Ercolano MR, Carli P, Soria A, Cascone A, Fogliano V, Frusciante L, Barone A (2008)** Biochemical, sensorial and genomic profiling of traditional Italian tomato varieties. *Euphytica* **164**: 571-582.
- Fernie AR, Tadmor Y, Zamir D (2006)** Natural genetic variation for improving crop quality. *Current Opinion in Plant Biology* **9**: 196-202.
- Fox E, Giovannoni J (2007)** Genetic control of fruit ripening. A: Razdan MK i Mattoo AK eds. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato*. New Hampshire: Science Publishers.
- García-Martínez S, Andreani L, Garcia-Gusano M, Geuna F, Ruiz JJ (2006)** Evaluation of amplified fragment length polymorphism and simple sequence repeats for tomato germplasm fingerprinting: utility for grouping closely related traditional cultivars. *Genome* **49**: 648-656.
- Garg N, Cheema DS, Dhatt AS (2008)** Genetics of yield, quality and shelf life characteristics in tomato under normal and late planting conditions. *Euphytica* **159**: 275-288.
- Getinet H, Seyoum T, Woldetsadik K (2008)** The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering* **87**: 467-478.
- Giovannoni J, Tanksley S, Vrebalov J, Noensie E (2004)** NOR gene for use in manipulation of fruit quality and ethylene response. United States. US Patent nº 5.234.834.
- Goldenberg JB, von der Pahlen A (1966)** Genetic and phenotypic correlation between weight and dry matter content of tomato fruits and their heritabilities. *Boletín Genético Argentina* **2**: 1-15.
- Gonzalo MJ, van der Knaap E (2008)** A comparative analysis into the genetic bases of morphology in tomato varieties exhibiting elongated fruit shape. *Theoretical and Applied Genetics* **116**: 647-656.
- Grandillo S, Tanksley SD (1996)** Genetic analysis of RFLPs, GATA microsatellites and RAPDs in a cross between *L. esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Theoretical and Applied Genetics* **92**: 957-965.
- Haki JM, Pollack BL (1984)** Linkage tests with the alcobaca storage gene. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **34**: 5-6.
- Hirschberg J (2001)** Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology* **4**: 210-218.
- Hobson GE (1980)** Effect of the introduction of non-ripening mutant-genes on the composition and enzyme content of tomato fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **31**: 578-584.
- Ibarbia EA, Lambeth VN (1971)** Tomato fruit size and quality interrelationships. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **96**: 199-201.
- Jones DF (1916)** Natural cross-pollination in the tomato. *Science* **43**: 509-510.
- Kopeliovitch E, Mizrahi Y, Rabinowitch HD, Kedar N (1980)** Physiology of the tomato mutant alcobaca. *Physiologia Plantarum* **48**: 307-311.
- Kopeliovitch E, Mizrahi Y, Rabinowitch HD, Kedar N (1982)** Effect of the fruit-ripening mutant-genes *rin* and *nor* on the flavor of tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **107**: 361-364.
- Kosma DK, Parsons EP, Isaacson T, Lu SY, Rose JKC, Jenks MA (2010)** Fruit cuticle lipid composition during development in tomato ripening mutants. *Physiologia Plantarum* **139**: 107-117.
- Kovacs K, Fray RG, Tikunov Y, Graham N, Bradley G, Seymour GB, Bovy AG, Grierson D (2009)** Effect of tomato pleiotropic ripening mutations on flavour volatile biosynthesis. *Phytochemistry* **70**: 1003-1008.
- Krumbein A, Peters P, Bruckner B (2004)** Flavour compounds and a quantitative descriptive analysis of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) of different cultivars in short-term storage. *Postharvest Biology and Technology* **32**: 15-28.
- Kuzymenskii AV (2007)** Effect of cumulative polymery of tomato keeping life genes. *Cytology and Genetics* **41**: 268-275.
- Lesley JW (1924)** Cross pollination of tomatoes - Varietal differences in amount of natural cross-pollination important factor in selection. *Journal of Heredity* **15**: 233-235.
- Lewinsohn E, Sitrit Y, Bar E, Azulay Y, Meir A, Zamir D, Tadmor Y (2005)** Carotenoid pigmentation affects the volatile composition of tomato and watermelon fruits, as revealed by comparative genetic analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**: 3142-3148.

- Liu JP, Van Eck J, Cong B, Tanksley SD (2002)** A new class of regulatory genes underlying the cause of pear-shaped tomato fruit. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **99**: 13302-13306.
- Lobo M, Bassett MJ, Hannah LC (1984)** Inheritance and characterization of the fruit ripening mutation in alcobaca tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **109**: 741-745.
- Loiudice R, Impembo M, Laratta B, Villari G, Lovoi A, Siviero P, Castaldo D (1995)** Composition of San-Marzano tomato varieties. *Food Chemistry* **53**: 81-89.
- MacArthur JW (1932)** Inherited characters in the tomato I - The self pruning habit. *Journal of Heredity* **23**: 395-396.
- Malundo TMM, Shewfelt RL, Scott JW (1995)** Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology* **6**: 103-110.
- Mantel N (1967)** Detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research* **27**: 209-220.
- Matas AJ, Gapper NE, Chung M-Y, Giovannoni JJ, Rose JKC (2009)** Biology and genetic engineering of fruit maturation for enhanced quality and shelf-life. *Current Opinion in Biotechnology* **20**: 197-203.
- Maul F, Sargent SA, Sims CA, Baldwin EA, Balaban MO, Huber DJ (2000)** Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature. *Journal of Food Science* **65**: 1228-1237.
- Mazzucato A, Papa R, Bitocchi E, Mosconi P, Nanni L, Negri V, Picarella ME, Siligato F, Soressi GP, Tiranti B, Veronesi F (2008)** Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Theoretical and Applied Genetics* **116**: 657-669.
- Mazzucato A, Ficcadenti N, Caioni M, Mosconi P, Piccinini E, Sanampudi VRR, Sestili S, Ferrari V (2010)** Genetic diversity and distinctiveness in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces: The Italian case study of 'A pera Abruzzese'. *Scientia Horticulturae* **125**: 55-62.
- McGlasson WB, Last JH, Shaw KJ, Meldrum SK (1987)** Influence of the non-ripening mutants *rin* and *nor* on the aroma of tomato fruit. *Hortscience* **22**: 632-634.
- Meudt HM, Clarke AC (2007)** Almost forgotten or latest practice? AFLP applications, analyses and advances. *Trends in Plant Science* **12**: 106-117.
- Mutschler M (1984a)** Inheritance and linkage of the alcobaca ripening mutant in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **109**: 500-503.
- Mutschler M (1984b)** Ripening and storage characteristics of the alcobaca ripening mutant in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **109**: 504-507.
- Mutschler M, Guttieri M, Kinzer S, Grierson D, Tucker G (1988)** Changes in ripening-related processes in tomato conditioned by the *alc* mutant. *Theoretical and Applied Genetics* **76**: 285-292.
- Mutschler M, Wolfe DW, Cobb ED, Yourstone KS (1992)** Tomato fruit-quality and shelf-life in hybrids heterozygous for the *alc* ripening mutant. *Hortscience* **27**: 352-355.
- Nei M (1973)** Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **70**: 3321-3323.
- Nuez F (1996)** *Catálogo de semillas de tomate*. Madrid: Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Paran I, van der Knaap E (2007)** Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *Journal of Experimental Botany* **58**: 3841-3852.
- Park YH, West MAL, St Clair DA (2004)** Evaluation of AFLPs for germplasm fingerprinting and assessment of genetic diversity in cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Genome* **47**: 510-518.
- Petersen KK, Willumsen J, Kaack K (1998)** Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* **73**: 205-215.
- Pratta GR, Rodriguez GR, Zorzoli R, Valle EM, Picardi LA (2011)** Phenotypic and molecular characterization of selected tomato recombinant inbred lines derived from the cross *Solanum lycopersicum* × *S. pimpinellifolium*. *Journal of Genetics* **90**: 229-237.
- Prudent M, Causse M, Genard M, Tripodi P, Grandillo S, Bertin N (2009)** Genetic and physiological analysis of tomato fruit weight and composition: influence of carbon availability on QTL detection. *Journal of Experimental Botany* **60**: 923-937.
- Rick CM (1949)** Rates of Natural Cross-Pollination of Tomatoes in Various Localities in California as Measured by the Fruits and Seeds Set on Male-Sterile Plants. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* **54**: 237-252.
- Rick CM, Butler L (1956)** Cytogenetics of the tomato. *Advances in Genetics Incorporating Molecular Genetic Medicine* **8**: 267-382.
- Robinson RW, Tomes ML (1968)** Ripening inhibitor: a gene with multiple effects on ripening. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **18**: 36-37.

- Rodriguez GR, Pratta GR, Liberatti DR, Zorzoli R, Picardi LA (2010) Inheritance of shelf life and other quality traits of tomato fruit estimated from F(1)'s, F(2)'s and backcross generations derived from standard cultivar, nor homozygote and wild cherry tomato. *Euphytica* **176**: 137-147.
- Rodriguez GR, Munos S, Anderson C, Sim S-C, Michel A, Causse M, Gardener BBM, Francis D, van der Knaap E (2011) Distribution of SUN, OVATE, LC, and FAS in the tomato germplasm and the relationship to fruit shape diversity. *Plant Physiology* **156**: 275-285.
- Sabatini E, Rotino GL, Voltattorni S, Acciarri N (2006) A novel CAPS marker derived from the Ovate gene in tomato (*L. esculentum* Mill.) is useful to distinguish two Italian ecotypes and to recover pear shape in marker assisted selection. *European Journal of Horticultural Science* **71**: 193-198.
- Saladie M, Matas AJ, Isaacson T, Jenks MA, Goodwin SM, Niklas KJ, Ren X, Labavitch JM, Shackel KA, Fernie AR, Lytovchenko A, O'Neill MA, Watkins CB, Rose JKC (2007) A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology* **144**: 1012-1028.
- Saliba-Colombani V, Causse M, Gervais L, Philouze J (2000) Efficiency of RFLP, RAPD, and AFLP markers for the construction of an intraspecific map of the tomato genome. *Genome* **43**: 29-40.
- Schuelter AR, Finger FL, Casali VWD, Brommonschenkel SH, Otoni WC (2002) Inheritance and genetic linkage analysis of a firm-ripening tomato mutant. *Plant Breeding* **121**: 338-342.
- Shewfelt RL, Thai CN, Davis JW (1988) Prediction of Changes in Color of Tomatoes during Ripening at Different Constant Temperatures. *Journal of Food Science* **53**: 1433-1437.
- Sinesio F, Moneta E, Peperario M (2007) Sensory characteristics of traditional field grown tomato genotypes in Southern Italy. *Journal of Food Quality* **30**: 878-895.
- Soressi GP (1975) New spontaneous or chemically-induced fruit ripening tomato mutants. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **25**: 21-22.
- Stern DJ, Buttery RG, Teranishi R, Ling L, Scott K, Cantwell M (1994) Effect of Storage and Ripening on Fresh Tomato Quality. *Food Chemistry* **49**: 225-231.
- Tam SM, Mhiri C, Vogelaar A, Kerkveld M, Pearce SR, Grandbastien MA (2005) Comparative analyses of genetic diversities within tomato and pepper collections detected by retrotransposon-based SSAP, AFLP and SSR. *Theoretical and Applied Genetics* **110**: 819-831.
- Tandon KS, Baldwin EA, Scott JW, Shewfelt RL (2003) Linking sensory descriptors to volatile and nonvolatile components of fresh tomato flavor. *Journal of Food Science* **68**: 2366-2371.
- Tanksley SD (2004) The genetic, developmental, and molecular bases of fruit size and shape variation in tomato. *Plant Cell* **16**: S181-S189.
- Terzopoulos PJ, Bebeli PJ (2010) Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Scientia Horticulturae* **126**: 138-144.
- Thompson AJ, Tor M, Barry CS, Vrebalov J, Orfila C, Jarvis MC, Giovannoni JJ, Grierson D, Seymour GB (1999) Molecular and genetic characterization of a novel pleiotropic tomato-ripening mutant. *Plant Physiology* **120**: 383-389.
- Tigchelaar EC, Tomes ML, Kerr EA, Barman RJ (1973) A new fruit ripening mutant, non-ripening (*nor*). *Report of the Tomato Genetics Cooperative* **23**: 33.
- Vogel JT, Tieman DM, Sims CA, Odabasi AZ, Clark DG, Klee HJ (2010) Carotenoid content impacts flavor acceptability in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **90**: 2233-2240.
- Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reijans M, Vandeleee T, Hornes M, Frijters A, Pot J, Peleman J, Kuiper M, Zabeau M (1995) Aflp - a New Technique for DNA-Fingerprinting. *Nucleic Acids Research* **23**: 4407-4414.
- Vrebalov J, Ruzinsky D, Padmanabhan V, White R, Medrano D, Drake R, Schuch W, Giovannoni J (2002) A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (*Rin*) locus. *Science* **296**: 343-346.
- Williams CE, Stclair DA (1993) Phenetic relationships and levels of variability detected by Restriction Fragment Length Polymorphism and Random Amplified Polymorphic DNA analysis of cultivated and wild accessions of *Lycopersicon esculentum*. *Genome* **36**: 619-630.
- Xiao H, Jiang N, Schaffner E, Stockinger EJ, van der Knaap E (2008) A retrotransposon-mediated gene duplication underlies morphological variation of tomato fruit. *Science* **319**: 1527-1530.
- Zeven AC (2000) Traditional maintenance breeding of landraces: 1. Data by crop. *Euphytica* **116**: 65-85.
- Zeven AC (2002) Traditional maintenance breeding of landraces: 2. Practical and theoretical considerations on maintenance of variation of landraces by farmers and gardeners. *Euphytica* **123**: 147-158.





**Capítol 7.**  
Conclusions





## 7. CONCLUSIONS

1. La variabilitat intra-varietal de les varietats tradicionals de tomàquet per caràcters agromorfològics és molt elevada:
  - a. El tomàquet de *Montserrat* i *Pera de Girona* únicament es poden distingir pels trets morfològics externs del fruit (pes, número de lòculs, alçada i relació amplada/alçada), existint un solapament per la resta de caràcters estudiats.
  - b. En el cas del tomàquet de *Penjar*, la variabilitat agromorfològica és molt elevada (quasi el doble que la detectada en el tomàquet de *Montserrat-Pera de Girona*), degut a què els agricultors seleccionen únicament el caràcter *llarga conservació*, mantenint una elevada diversitat per la resta de caràcters.
2. L'heterogeneïtat intra-varietal afecta als caràcters organolèptics, no existint un perfil sensorial intern distintiu de cada varietat (*Montserrat* no es pot distingir de *Pera de Girona*). Això limita la promoció en el mercat de les varietats tradicionals com a productes d'elevada qualitat organolèptica, doncs cada genotip té el seu propi perfil sensorial.
3. Les varietats *Montserrat* i *Pera de Girona* presenten un fons genètic similar i una variabilitat intra-varietal baixa (6,2% i 7,4% de loci polimòrfics, respectivament). La varietat *Penjar* presenta una variabilitat per fons genètic elevada (18,1% de loci polimòrfics).
4. La presència del mutant de conservació alcobaça (*alc*) en combinació amb el fruit de mida reduïda són els responsables de la llarga conservació del tomàquet de *Penjar* (conservació mitjana 126,8 dies).
5. La mutació *alc* consisteix en una substitució de Timina per Adenina a la posició 317 de la seqüència de codificació del gen NAC.NOR (cromosoma 10), i és al·lèlica a la mutació *nor*.
6. El tomàquet de *Penjar* presenta una aroma singular, definida com a *floral-punxant*, la qual evoluciona durant la postcollita, exhibint el seu màxim als 2 mesos de postcollita. Aquests canvis durant la postcollita són deguts a fenòmens d'emascament-desemascament, doncs tots els volàtils disminueixen la concentració durant la postcollita.
7. Tot i presentar el mateix patró de comportament durant la postcollita, existeixen diferències entre genotips *Penjar* per la intensitat aromàtica.
8. A excepció de l'absència de *cis*-3-hexanal (que sembla determinant en l'elevada percepció sensorial de l'aroma *floral-punxant*), la presència del mutant *alc* no afecta a la concentració dels volàtils responsables de l'aroma en el tomàquet de *Penjar*, els quals es troben en concentracions semblants a les de referència.
9. Com a resultat d'un programa de millora genètica s'han obtingut tres varietats millorades: Punxa dins la varietat *Penjar*, Montgrí dins la varietat *Pera de Girona* i Sant Jeroni dins la varietat *Montserrat*.

# Llista de figures

## Capítol 1. Introducció

### Primera part. L'emergència de nous atributs de qualitat dels productes agrícoles

- Figura 1.1.** Evolució de la producció mundial d'aliments en el període 1960-2009. 4
- Figura 1.2.** Els atributs de la qualitat dels productes agrícoles en funció dels diferents agents de la cadena agroalimentària. 6
- Figura 1.3.** Evolució del percentatge de renda de les famílies destinada a l'alimentació a Espanya. 7
- Figura 1.4.** Evolució de les plantes cultivades d'arròs: esquerra, varietats altes cultivades abans de la Revolució Verda; centre, varietats amb port baix cultivades a partir de la Revolució Verda; dreta, nous morfotips (cv. 'Super Rice') amb baix fillolat però tiges més robustes. 8

### Segona part. Història del tomàquet i evolució de la qualitat organolèptica

- Figura 1.5.** Evolució (1961-2009) de la producció, la superfície cultivada, el rendiment i el consum anual per càpita de tomàquet. 16-17
- Figura 1.6.** Diversitat morfològica en el tomàquet cultivat. (A) Comparació del fruit de la varietat *Giant Heirloom* amb el fruit de l'ancestre silvestre *Solanum pimpinellifolium*. (B) Variació de la mida i la forma del fruit en el tomàquet cultivat. 20
- Figura 1.7.** Forma de la fulla (A) i del fruit (B) de les diferents espècies del complex *S.lycopersicum*. 20
- Figura 1.8.** Primeres representacions del tomàquet a Europa. 25
- Figura 1.9.** Evolució de la morfologia del fruit del tomàquet. Les mutacions en els locus LC (fruits esfèrics i plans), OVATE (fruits el·lipsoïdes) i FAS (fruits aplanats i multiloculars) es van produir durant les primeres fases de la domesticació. La mutació en el locus SUN (fruits allargats i piriformes) es va produir a Europa durant el procés de diversificació. 26
- Figura 1.10.** Els diferents ideotips dels programes de millora destinats al mercat de tomàquet per consum en fresc i tomàquet d'indústria han comportat la diferenciació genètica de les poblacions cultivades. 28
- Figura 1.11.** Distribució geogràfica de les entrades de la varietat *Montserrat* i *Pera de Girona* conservades als Bancs de Germoplasma de Catalunya. 34
- Figura 1.12.** Distribució geogràfica de les entrades de la varietat *Penjar* conservades als Bancs de Germoplasma de Catalunya. 34
- Figura 1.13.** Fotografia d'un magatzem de tomàquets de *Penjar*, presa a Banyalbufar l'any 1927 per David Fairchild. 36

## Capítol 2. The risks of success in quality vegetable markets: possible genetic erosion in Marmande tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and consumer dissatisfaction

- Figura 2.1.** Àrea tradicional de cultiu de les diferents varietats tradicionals espanyoles de tomàquet estudiades: *Montserrat*, *Pera de Girona*, *Valenciano* i *Muchamiel*. 58
- Figura 2.2.** Gràfic de les 3 coordenades principals (54,0% de la variació total) obtingudes mitjançant la PCoA estimada a partir dels resultats dels AFLP. 59

## Capítol 3. Genetic basis of long shelf life and variability into *Penjar* tomato

- Figura 3.1.** Seqüència de nucleòtids a la regió polimòrfica del tercer i segon exons del gen NAC.NOR. 71
- Figura 3.2.** Gràfic de les 2 coordenades principals (39,4% de la variació total) obtingudes mitjançant la PCoA estimada a partir dels resultats dels AFLP. 72
- Figura 3.3.** Variació de la forma del fruit dins la varietat *Penjar*. Fotografies obtingudes 5 mesos (159 dies) després de la collita. 74
- Figura 3.4.** Anàlisi de components principals (PCA) calculada a partir dels caràcters agromorfològics avaluats en les entrades *Penjar*. 75

## Capítol 4. Montgrí, a cultivar within the *Montserrat* tomato type

- Figura 4.1.** Fruits de la varietat millorada Montgrí: imatge del fruit sencer i de la secció transversal. 81

## Capítol 5. Long-term postharvest aroma evolution of tomatoes with the *alcobaça* (*alc*) mutation

- Figura 5.1.** Evolució de la intensitat d'aroma *floral-punxant* durant la postcollita de 4 entrades *Penjar*. 90
- Figura 5.2.** Model PLS optimitzat amb les variables iPLS revertides seleccionades, relacionant la concentració dels volàtils amb les dades sensorials. 92

## Capítol 6. Discussió General

---

<b>Figura 6.1.</b> Presència del marcador CAP en la col·lecció d'entrades <i>Penjar</i> i testimonis avaluats. Les dobles bandes (absència de polimorfisme a la posició 317 del cds del segon exó del gen NAC-NOR) estan presents als controls de la varietat <i>Montserrat</i> i als mutants de conservació, excepte a LA3134 ( <i>alc</i> ) i les entrades <i>Penjar</i> .	104
<b>Figura 6.2.</b> Fruits de les varietats millorades Montgrí i Sant Jeroni.	107
<b>Figura 6.3.</b> Fruits de la varietat millorada Punxa.	109

---

**Nota:** la numeració de les figures dels capítols 2, 3, 4 i 5 s'ha establert a partir de l'ordre d'aparició en el text. En els articles publicats, les figures estan numerades segons les normes d'estil de cada revista.

## Llista de quadres de text

### Capítol 1. Introducció

---

#### Primera part. L'emergència de nous atributs de qualitat dels productes agrícoles

**Quadre 1** La Revolució Verda, una història marcada per la millora genètica i la síntesi de Haber-Bosch. 8

#### Segona part. Història del tomàquet i evolució de la qualitat organolèptica

**Quadre 2** El tomàquet de *Penjar* en la literatura. 37

---

## Llista de taules

### Capítol 1. Introducció

---

#### Segona part. Història del tomàquet i evolució de la qualitat organolèptica

- Taula 1.1.** Alguns exemples de mutacions probablement seleccionades pels agricultors durant la post-domesticació. 27
- Taula 1.2.** Alguns exemples de mutacions ocorregudes en el transcurs de programes de millora genètica del tomàquet i/o introgressades des dels ancestres silvestres. 30
- Taula 1.3.** Literatura rellevant sobre varietats tradicionals cultivades a la conca mediterrània (Espanya, Itàlia, Grècia). 38-39

---

### Capítol 2. The risks of success in quality vegetable markets: possible genetic erosion in Marmande tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and consumer dissatisfaction

- Taula 2.1.** Adaptadors oligonucleotídics i iniciadors emprats en les anàlisis AFLP. 58
- Taula 2.2.** Concentració (g/l) dels diferents soluts presents a les dissolucions presentades als tastadors durant l'entrenament del panel de tast pels atributs dolçor i acidesa. 59
- Taula 2.3.** Mitjana de cada varietat pels caràcters agronòmics. Coeficient de variació (CV), valor màxim (màx) i mínim (mín) per *Montserrat* i *Pera de Girona*. 60
- Taula 2.4.** Mitjana de cada varietat pels caràcters relacionats amb la morfologia del fruit. Coeficient de variació (CV), valor màxim (màx) i mínim (mín) per *Montserrat* i *Pera de Girona*. 61
- Taula 2.5.** Mitjana de cada entrada pels atributs sensorials relacionats amb la textura, la intensitat d'aroma de tomàquet i el sabor. 62

---

### Capítol 3. Genetic basis of long shelf life and variability into *Penjar* tomato

- Taula 3.1.** Iniciadors emprats per a l'anàlisi del gen NAC.NOR. 69
- Taula 3.2.** Adaptadors oligonucleotídics i iniciadors emprats en les anàlisis AFLP. 70
- Taula 3.3.** Caracterització agronòmica. 73
- Taula 3.4.** Correlacions genotípiques entre el caràcter conservació i les variables relacionades amb la morfologia del fruit, considerant únicament les entrades amb la mutació *alc*. 73
- Taula 3.5.** Coeficients de correlació entre les variables agromorfològiques i els tres components principals (PCA1, PCA2, i PCA3). 74

---

### Capítol 4. Montgrí, a cultivar within the *Montserrat* tomato type

- Taula 4.1.** Comportament agronòmic i caracterització morfològica del cultivar Montgrí, les dues línies parentals (CDP02518, CDP05564), dos testimonis del tipus *Pera de Girona* (CDP08823, CDP09437) i el cultivar comercial Bodar. 82
- Taula 4.2.** Caracterització sensorial i instrumental del cultivar Montgrí, les dues línies parentals (CDP02518, CDP05564), dos testimonis del tipus *Pera de Girona* (CDP08823, CDP09437) i el cultivar comercial Bodar. 82

---

### Capítol 5. Long-term postharvest aroma evolution of tomatoes with the *alcobaça (alc)* mutation

- Taula 5.1.** Caràcters agronòmics i morfològics de les entrades *Penjar* estudiades (mitjana  $\pm$  desviació estàndard). 86
- Taula 5.2.** Mitjanes pels caràcters relacionats amb la postcollita. 89
- Taula 5.3.** Concentració mitjana (mg/kg) dels principals volàtils relacionats amb l'aroma del tomàquet en 4 entrades *Penjar* durant la postcollita. 91
- Taula 5.4.** Puntuacions dels volàtils inclosos en el model PLS optimitzat amb les variables iPLS revertides seleccionades considerant les dues primeres variables latents. 92

---

**Nota:** la numeració de les taules dels capítols 2, 3, 4 i 5 s'ha establert a partir de l'ordre d'aparició en el text. En els articles publicats, les figures estan numerades segons les normes d'estil de cada revista.